DIE NATURWISSENSCHAFTEN

28. Jahrgang | 4. Oktober 1940 | Heft 40/41

Die siedlungsgeographische Phosphatmethode.

Von WALTER LORCH, Aachen.

I.

Die Geographie als die Wissenschaft von der belebten Erde[1]) ist keineswegs auf die Betrachtung der heute auf der Erde sich im Raume auseinandersetzenden Kräfte und des sich daraus ergebenden Landschaftsbildes beschränkt, sondern kann auch das Kräftespiel eines beliebigen Zeitpunktes der Vergangenheit untersuchen. So kann z. B. das Siedlungsbild irgendeiner geschichtlichen oder vorgeschichtlichen Periode auf seine geographische Bedingtheit hin untersucht werden[2]). Um aber die Einwirkungen der durch die Natur bedingten Gegebenheiten (Windschutz, Sonnbestrahlung, Wasserversorgung, Baugrund, Verkehrslage, Nähe des Wirtschaftslandes usw.) wie der auf dem Menschen als Landschaftsgestalter beruhenden Gegebenheiten (Rasse, Volk, Kultur) auf das Siedlungsbild herausarbeiten zu können, ist eine genaue Kenntnis der jeweiligen Lage der Siedlung im Raume das erste Erfordernis.

An sich wäre es Aufgabe der Geschichte und Vorgeschichte, das Siedlungsnetz vergangener Zeiten zu rekonstruieren, worauf die Arbeit des Geographen in Form einer Untersuchung des zu den betreffenden Ortslagen führenden Kräftespieles zwischen Mensch und Umwelt einzusetzen hätte. Nun sind aber bedauerlicherweise weder Geschichte noch Vorgeschichte bisher in der Lage gewesen, ehemalige Siedlungsbilder lückenlos zu rekonstruieren. Der Geograph sieht sich deshalb in den meisten Fällen gezwungen, die nur Fundkarten darstellenden Siedlungskarten der Prähistoriker und Wüstungsforscher nach Möglichkeit durch eigene Untersuchungen zu vervollständigen. Obwohl er sich damit aus dem eigentlichen Bereich des Geographen in den des Geschichtswissenschaftlers im weitesten Sinne begibt, ist ein solcher „Grenzübertritt" doch deshalb besonders fruchtbar, weil der Geograph mit einer ganz anderen Fragestellung als der Historiker an das Problem herantritt und weil nur er die Gesamtheit aller wirkenden Kräfte zu überschauen und ihrem Einfluß nach abzuschätzen vermag.

Aus diesen Erwägungen heraus wurde vom Verf. unter Auswertung bisheriger bodenkundlicher Forschungsergebnisse eine Methode ausgearbeitet, die den Geographen befähigt, mit einem Minimum an Zeit, Geld, Arbeitsgerät, Spezialwissen und Vorarbeiten den ehemaligen Einfluß des Menschen auf die Erde festzustellen. *Diese Methode stützt sich auf die Beobachtung, daß an allen ständigen oder zeitweiligen Aufenthaltsorten des Menschen durch dessen Tätigkeit Phosphatanreicherungen im Boden entstehen, aus deren Ausdehnung, Stärke und Art man noch nach Jahrtausenden Folgerungen über die ehemalige Auseinandersetzung des Menschen mit seiner Umwelt ziehen kann.* Daß die Methode, die wegen ihres hauptsächlichen Anwendungsbereiches „siedlungsgeographische Phosphatmethode" genannt sei, sich von den exaktnaturwissenschaftlichen Methoden der Bodenkunde unterscheidet, beruht auf der geographischen Fragestellung. Die mathematisch genaue Bestimmung des Phosphatgehaltes des Bodens, wie sie in der Bodenkunde üblich ist, tritt trotz aller Forderung nach Zuverlässigkeit zurück vor der Aufgabe, die ehemalige Beeinflussung der Landschaft durch den Menschen möglichst einfach und eindeutig zu ermitteln. Im Laufe von Untersuchungen, die vom Verf. seit 1937 in verschiedenen Teilen Deutschlands sowie in Palästina ausgeführt wurden, nahm die siedlungsgeographische Phosphatmethode allmählich ihre gegenwärtige Gestalt an, die im folgenden eingehender beschrieben und begründet werden soll.

II.

In dem zur *Untersuchung* gewählten Gebiet wählt man eine Leitlinie im Gelände (Weg, Waldrand, Wassergraben o. dgl.), längs deren man in regelmäßigen Abständen von 50 m, also etwa 60 Schritten, Bodenproben entnimmt. Man bröckelt hierbei mit der Hand von mehreren benachbarten Stellen am Entnahmepunkt insgesamt etwa 20 g Erde in ein mit Tintenstift beschriftetes und bezifferte Tütchen. Als Entnahmegeräte dienen im Wald, auf Weiden, Wiesen und Ödland ein Bohrstock oder ein Messer, auf Äckern dagegen die Hand. Von Äckern abgesehen, die eine besonders einfache Probenahme gestatten, werden die obersten paar Zentimeter des Bodens nicht mit verwendet. Einzelne der Lage nach wichtige Entnahmepunkte, vor allem der erste und letzte, müssen auf der Karte oder im Gelände angemerkt werden. Damit ist die Feldarbeit beendet, und nach dem Trocknen der Bodenproben beginnt die eigentliche Untersuchung.

In bezifferte Reagensgläser wird von den Bodenproben in fortlaufender Reihenfolge jeweils 1 g der feingesiebten und gut vermischten Erde aus jedem Tütchen eingewogen. Dann bereitet man eine ausreichende Menge von „Molybdänblau-Entwickler", indem man beispielsweise für 30 Proben in einer Flasche 6 g Ammoniummolybdat, 5 g

[1]) W. GEISLER, Über das Grundprinzip der Geographie. Zur Wirtschaftsgeographie des deutschen Westens 8. Berlin 1940 (im Druck).

[2]) Vgl. W. LORCH, Die Anwendung siedlungsstatistischer Methoden zur Analyse früherer Siedlungsbilder, am Beispiel der eisenzeitlichen Besiedlung des Albuchs. Geograph. Ztschr. 46 (1940) (im Druck).

Natriumsulfit (schwefligsaures Natron), $^1/_4$ g Hydrochinon und 45 ccm konzentrierte reine Schwefelsäure in 550 ccm gewöhnlichem Leitungswasser löst. Der Entwickler hält sich zwar wochenlang, doch darf während ein und derselben Untersuchung natürlich nicht nach Aufbrauchen des alten Entwicklers ein neuer verwendet werden, was sich schon wegen der Verwendung von stets phosphathaltigem Leitungswasser verbietet. In jedes Reagensglas füllt man nun 20 ccm des Entwicklers und notiert den sich in Aufbrausen bemerkbar machenden Kalkgehalt der Bodenproben. Zur Bestimmung des Phosphatgehaltes der Bodenproben setzt man nun eine Vergleichslösung an, indem man in 100 ccm Entwickler genau 1 g kristallisiertes Di-Natriumphosphat ($Na_2HPO_4 \cdot 12\,H_2O$) löst, 10 ccm davon mit 70 ccm Entwickler verdünnt und davon 20 ccm in ein Reagensglas einfüllt, das also 25 mg dieses Phosphatsalzes oder rund 10 mg P_2O_5 mit 20 ccm Entwickler enthält. Nun schüttelt man alle Reagensgläser tüchtig durch und stellt sie gleichzeitig in ein leicht kochendes Wasserbad, in dem sie $^1/_2$ Stunde bleiben.

Nach dem Abkühlen verdünnt man die je nach dem Phosphatgehalt der betreffenden Bodenprobe verschieden stark blaugefärbte Flüssigkeit in den einzelnen Gläsern auf jeweils ein Viertel, wobei man die Höhe der über der Bodenprobe lagernden Knochenleimschicht (0—5 cm) im Untersuchungsprotokoll notiert. Die Reagensgläser werden nun ohne Rücksicht auf ihre Nummer in eine Reihe steigender Blaufärbung geordnet, indem man jeweils 4 oder 5 Gläser ähnlicher Intensität vor einen weißen Hintergrund hält und dann immer dasjenige geringster Blaufärbung in den Reagensglasständer zurückstellt. Auch die Vergleichslösung und deren weitere Verdünnung auf die Hälfte und ein Viertel wird derartig eingereiht und dient nun mit diesen als Fixpunkt für die Schätzung des Phosphatgehaltes. Diese erfolgt in der Weise, daß man der Vergleichslösung den Wert von 40 FE. (= Farbeinheiten) erteilt, ihrer Verdünnung auf die Hälfte den Wert 20 FE., deren Verdünnung wiederum den Wert 10 FE. usw. Die zwischen den Fixpunkten liegenden Farbwerte schätzt man nun nach Augenmaß und trägt den ermittelten FE.-Wert im Protokoll unter der betreffenden Reagensglasnummer ein.

Hat man auf diese Weise den Kalk-, Knochenleim- und Phosphatgehalt jeder Bodenprobe bestimmt, so kann man unter Zuhilfenahme der Karte an die Auswertung gehen. Normalerweise enthalten in Mitteleuropa die Äcker etwa 10 FE., doch ist ihr Phosphatgehalt in der Nähe der Gemarkungsgrenze bedeutend geringer, um in Siedlungsnähe bis auf etwa 18 FE. zu steigen. Wiesen zeigen durchschnittlich 5 FE., Wälder sogar nur etwa 2 FE. Ganz allgemein sinkt der Phosphatgehalt außerhalb von Siedlungen ständig ab. Tauchen nun plötzlich Stellen bedeutend höheren Phosphatgehaltes auf, etwa von 20—25 FE., so besteht der Verdacht, daß hier eine ehemalige Siedlung lag, worauf notfalls an der ermittelten Stelle mit einer neuen Probenahme in anderer Richtung oder mit einer Suche nach Artefakten eingesetzt werden kann. Je nach der Höhe des Phosphatgehaltes, der Größe des phosphatreichen Gebietes und des schnelleren oder langsameren Ansteigens des Phosphatgehaltes vermag man wichtige Rückschlüsse auf die Art der Entstehung der ermittelten Phosphatanreicherung durch die Tätigkeit des Menschen zu ziehen.

Welch geringe Anstrengung die Entdeckung ehemaliger Siedlungen mittels der beschriebenen Methode erfordert, möge eine Probenahme aus der Umgebung Kölns zeigen, wo innerhalb von 2 Stunden auf der aus der letzten Eiszeit stammenden Niederterrasse 40 Bodenproben zwischen Wahn, Liebour und Zündorf gesammelt wurden. Die Untersuchung, die nur einige Stunden dauerte und etwa 60 Pfennige kostete, zeigte, daß durch die 3,2 km lange, willkürlich gelegte Probenahmestrecke eine ehemalige Siedlung bäuerlichen Charakters nahe Wahn geschnitten wurde, ferner ein kleiner Wohnplatz vermutlich mesolithischen Alters mit Jäger-Fischer-Sammlercharakter an einem verschwundenen Altwasser des Rheins sowie die dorfnahen Äcker einer wahrscheinlich mittelalterlichen Wüstung zwischen Liebour und Zündorf.

III.

Nachdem so kurz die an anderer Stelle[1]) ausführlicher beschriebene Feldarbeit, Untersuchung und Auswertung dargestellt wurde, soll nun die Berechtigung der geschilderten Arbeitsgänge im einzelnen nachgewiesen werden. Grundlegend für die ganze Phosphatmethode ist die Erkenntnis, daß alle langdauernden menschlichen Einwirkungen auf die Landschaft, die mit einer Ablagerung von Abfallstoffen verbunden sind, im Phosphatgehalt des Bodens fixiert werden. Diese Einwirkungen erstrecken sich, je nach der Art der menschlichen Betätigung, auf Flächen (Bodenbestellung mit Düngung, Weiden von Nutztieren), auf Linien (Ablagerung von Abfallstoffen längs von Verkehrslinien) oder auf Punkte (Abfallhäufung innerhalb von Wohnstätten). An allen Betätigungsplätzen des Menschen werden durch dessen Wirtschaft aus der näheren oder weiteren Umgebung gewonnene und verarbeitete Stoffe abgesetzt in Form von menschlichen und tierischen Abgängen, Resten von Futter- und Nahrungsmitteln, Kadavern, gewerblichen Abfällen u. dgl., die alle mehr oder weniger viel Phosphorsäure enthalten. Wo Mensch und Vieh die in der Umgebung gesammelten Stoffe nach ihrer Verwertung infolge unsteter Lebensweise an den verschiedensten Stellen ihres Betätigungsraumes ablagern, werden natürlich keine örtlichen Phosphatanreicherungen entstehen können. Umgekehrt werden ganz bedeutende derartige Anreicherungen dann entstehen, wenn die Abfallstoffe immer wieder an räumlich beschränkten Örtlich-

[1]) W. LORCH, Methodische Untersuchungen zur Wüstungsforschung. Jena 1939.

keiten abgelagert werden. Betrachtet man unter diesem Gesichtspunkt die verschiedenen Wirtschaftsformen, so kommt man zu folgenden *Ablagerungsformen*.

Bei nomadisierender Viehzucht, wie sie bei reinen Hirtenkulturen auftritt, wird vor allem der Dung der Tiere im ganzen Weidegebiet abgelagert, so daß nur an den zu bestimmten Jahreszeiten oder nach Ablauf mehrerer Jahre wieder aufgesuchten

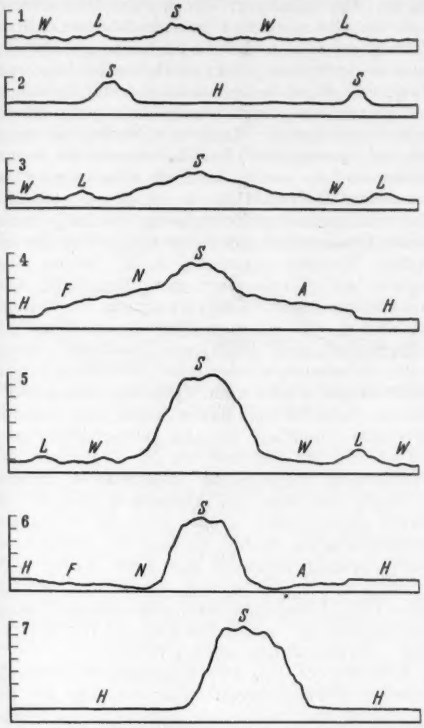

Fig. 1. Phosphatkurven. 1. Streutyp A, nomadisierende Viehzucht; 2. Streutyp B, Jäger-Fischer-Sammlersiedlungen; 3. Ausbreitungstyp A, halbnomadische Viehzucht; 4. Ausbreitungstyp B, landwirtschaftliche Siedlungen; 5. Stapeltyp A, ortsständige Viehzucht; 6. Stapeltyp B, landwirtschaftliche Siedlungen ohne Düngeranwendung; 7. Stapeltyp C, nichtlandwirtschaftliche Spezialsiedlungen. Je nach der Dauer der Besiedlung und der Größe des Wohnplatzes sind beträchtliche Abweichungen möglich. *S* ehemalige Siedlung, *W* Weideland, *L* vom Vieh bevorzugt aufgesuchte Geländestellen, *A* landwirtschaftlich genutztes Land, H landwirtschaftlich nichtgenutztes Land, N siedlungsnahes Wirtschaftsland, F siedlungsfernes Wirtschaftsland.

Lagerplätzen durch die dort stärkere Ablagerung eine geringe Phosphatanreicherung im Boden entsteht, die nach allen Seiten langsam abnimmt. Es entsteht dadurch eine Phosphatkurve vom Streutyp A (vgl. Fig. 1).

Bei halbnomadischer Viehzucht, bei der in der Umgebung ständiger Siedlungen etwas Pflanzenbau getrieben wird, während das Vieh ringsum frei weidet (Gaucho- und Cowboykulturen Amerikas, bronzezeitliche Viehzucht Mitteleuropas), findet eine leichte Phosphatanreicherung in den vom Vieh bevorzugt aufgesuchten Gebieten statt, doch wird der größte Teil der Abfallstoffe in der engeren und weiteren Umgebung des ständig besiedelten Wohnplatzes abgelagert (Phosphatkurve vom Ausbreitungstyp A).

Bei stark zurücktretender Viehwirtschaft und vorwiegender Bodenbearbeitung in Form von Pflanzbau, Pflugbau oder Gartenbau wird der mengenmäßig geringe Dung zusammen mit menschlichen Fäkalien und allen möglichen Abfallstoffen, oft auch zusammen mit künstlichen Düngestoffen, auf dem Wirtschaftsland ausgebreitet. Außerhalb des angebauten und daher gedüngten Landes fällt der Phosphatgehalt sehr rasch ab und ist auf dem angebauten Land am höchsten in unmittelbarer Nähe des Wohnplatzes und der Wege (Ausbreitungstyp B). Bei Almwirtschaft entsteht innerhalb der Hauptsiedlung eine Kurve vom Ausbreitungstyp B, im Gebiet der Almsiedlung dagegen eine vom Ausbreitungstyp A. Vorausgesetzt ist hierbei stets die Kenntnis und Anwendung der Düngung, die sich ja schon bei primitivem Pflanzenbau findet. So wird bei den Hackbaukulturen Afrikas der Dung der Haustiere gesammelt und auf dem Wirtschaftsland verteilt; die Indianer der Ostküste Nordamerikas düngten ihre Maisfelder mit Fischen und Muscheln, und die Azteken Mexikos verwendeten menschliche Fäkalien, während im Peru der Inkazeit planmäßig die Guanolager der Küste ausgebeutet wurden[1]). Auch in vorgeschichtlichen Zeiten scheint die Kenntnis der Düngung, d. h. des Ersatzes der durch die Ernte dem Boden geraubten Nährstoffe durch Einbringung etwa gleichwertiger Stoffe, weiter verbreitet gewesen zu sein, als man bisher dachte. In Jütland war z. B. anscheinend schon zur frühen Eisenzeit die Düngung der Felder allgemein üblich. Daß dem aufmerksamen Beobachter auch die beträchtliche Anhäufung wertvoller Pflanzennährsalze innerhalb von Wohnplätzen auffallen muß, ergibt sich z. B. daraus, daß bei den Wanjamwesi im Gebiet von Tabora (Ostafrika) öfters die Siedlungen verlegt werden und auf dem durch Abfälle und Kot unbeabsichtigt gedüngten bisherigen Wohnplatz nun Hackbau getrieben wird[1]). Entsprechend ist auch in den deutschen Templerkolonien Palästinas im vorigen Jahrhundert der Siedlungsschutt von Tells[2]) zur Düngung der Felder benutzt worden.

[1]) H. PLISCHKE, Die technisch-wirtschaftliche Ausnutzung des Bodens bei den Naturvölkern. Handbuch der Bodenlehre 10, 65—95 (1932). — H. HOLZSCHNEIDER, Die Vogelberge, Guano- und Inselphosphatlagerstätten der Erde. Diss. Bonn 1937.

[2]) Die Tells (arabisch = Hügel) sind die Schutthügel wüster Siedlungen aller Zeiten im Mittelmeergebiet, in Istrien Castellieri genannt.

Fehlt nun aber die Düngung, so entsteht eine vom Ausbreitungstyp grundverschiedene Phosphatkurve, die durch ein jähes Ansteigen gekennzeichnet wird (Stapeltyp B). Bei Siedlungsarten, die keine unmittelbare Bindung an ein dicht benachbartes Wirtschaftsland zeigen, bezüglich ihrer Ernährung also nicht autark sind, ist der Stapeltyp besonders stark ausgeprägt. Hierher gehören alle solche Siedlungen, deren Wirtschaft weder auf Bodenbearbeitung noch Viehzucht beruht, sondern auf Handwerk, Industrie oder Sonderaufgaben militärischer, kultischer oder wissenschaftlicher Art; bei all diesen erfolgt eine starke Abfallhäufung innerhalb des engeren Aufenthalts- und Betätigungsplatzes, dagegen keine Ablagerung in der weiteren Umgebung (Stapeltyp C). Ein Beispiel für diese Ablagerungsform bilden die Phosphatanreicherungen auf dem unmittelbar nördlich von Aachen sich erhebenden Lousberg, der bis zu Beginn des 19. Jahrhunderts als Weide diente, seit 1848 aber einen parkähnlichen Wald trägt. Auf dem Gipfel des Berges wurden im Mesolithikum und Neolithikum Feuersteine des oberen Senons bergmännisch gewonnen und auch gleich in Werkstätten verarbeitet[1]). Die Untersuchung des Berges mittels der Phosphatmethode bestätigte die Befunde der Vorgeschichtsforschung: Während der Sockel des Berges sowie der benachbarte Salvatorberg nur wenige FE. aufweisen, steigt der Phosphatgehalt am südlichen Berghang im Bereich des oberen Untersenos (c o 4 β) unterhalb des mit losen Feuersteinen und Hornsteinen bedeckten Gipfels (c o e) von unten nach oben ständig an und weist durchschnittlich 22 FE. auf. Außerhalb des vom Gipfel stammenden Schuttmantels beträgt der Phosphatgehalt des Hanges dagegen nur rund 4 FE. Der Bergrücken zeigt dementsprechend im NW, also im Bereich des oberen Untersenons, geringe, nach SO aber immer stärker ansteigende Werte, die dann im Bereich des oberen Senons durchschnittlich 37 FE. betragen und teilweise über 40 FE. hinausgehen. Der Phosphatgehalt des Bodens beweist also, daß 1. auf dem vom oberen Senon gebildeten Berggipfel nicht nur Feuerstein gewonnen wurde, sondern daß hier auch die Werkstätten der Handwerker und die Wohnungen der Bergleute lagen (Höhe des Phosphatgehaltes!), und daß 2. die Besiedlung sich streng an das feuersteinführende Obersenon hielt und bergbaulich-industriellen Charakter zeigte (Phosphatkurve vom Stapeltyp C!).

Der Stapeltyp A, der noch Anklänge an den Ausbreitungstyp zeigt, findet sich dann, wenn die Bodenbearbeitung vor einer ortsständigen Viehzucht zurücktritt, bei der die Nutztiere wenigstens nachts und bei ungünstiger Witterung in Ställen, Kraalen u. dgl., innerhalb der Wohnplätze oder in unmittelbarer Siedlungsnähe gehalten werden, während ein paar wenige Felder zur Erzeugung pflanzlicher Nahrungsmittel dienen, so daß die Phosphatanreicherung innerhalb der Siedlung und der Pferche bei weitem überwiegt.

Bei Jagd, Fischfang, Sammeln oder einer Kombination aller dreier Wirtschaftsformen werden dem betreffenden Wirtschaftsraum in verhältnismäßig geringem Umfange ortsgebundene Wirtschaftsgüter entnommen, deren Endprodukte zusammen mit denen erlegter Tiere im unmittelbaren Bereich des Wohnplatzes zur Ablagerung gelangen (Streutyp B). Bei ständigem Wechsel des Wohnplatzes wird die Konzentration phosphathaltiger Abfallstoffe so gering sein, daß die Phosphatanreicherung kaum feststellbar ist. Da nun aber selbst bei diesen primitiven Jäger-Sammlerkulturen die Freizügigkeit nicht unbegrenzt ist, sondern jeder Horde nur ein bestimmter Raum zur Verfügung steht, der bei wachsender Bevölkerungsdichte immer kleiner wird, so werden im mehr oder weniger abgegrenzten Wirtschaftsraum in jahreszeitlichem oder wenigstens mehrjährigem Wechsel immer wieder bestimmte Lagerplätze aufgesucht, die besondere Vorteile aufweisen, z. B. leichte Versorgung mit Trinkwasser und Brennholz, oder guten Schutz gegen Feinde, Raubtiere, Witterungsunbilden u. dgl. oder einfache Beschaffung von Nutzpflanzen und Jagdtieren gewähren. Schon in der Altsteinzeit wurden daher bestimmte Lagerplätze immer wieder vom Menschen aufgesucht[1]). Manche Örtlichkeiten haben sogar eine derartig universale Gunstlage für alle Wirtschaftsformen, daß sie von der Steinzeit bis zur Gegenwart ununterbrochen menschliche Wohnstätten trugen. Je länger nun aber die Ablagerung von Abfallstoffen dauert, desto größer wird die Phosphatanreicherung im Boden, so daß bei hinreichend langer Ablagerungsdauer aus einer Kurve vom Streutyp B eine solche vom Stapeltyp C werden kann. Diese Überlegung zeigt, daß auch der Faktor „Siedlungsdauer" neben dem Faktor „Wirtschaftsweise" berücksichtigt werden muß.

Während der Typ der Phosphatkurve durch die besondere Wirtschaftsweise des Menschen an der betreffenden Stelle verursacht wird, hängt die Stärke der Phosphatanreicherung von der Intensität der Ablagerung ab, die in erster Linie eine Funktion der zeitlichen Dauer der Ablagerung ist; allerdings spielt die Wirtschaftsweise auch insofern eine gewisse Rolle, als Pflanzenbauer eine phosphatärmere Nahrung aufweisen als Jäger oder Viehzüchter. Je eindeutiger die Wirtschaftsweise und je anhaltender die Ablagerung war, desto deutlicher läßt sich das alte Siedlungsbild infolge der scharfen Ausprägung der Phosphatkurve erkennen. Die Ablagerungsdauer kann nun aber fortlaufend oder unterbrochen sein, wie etwa bei Dauersiedlungen einerseits und Fliehburgen andererseits. Ein 200 Jahre lang dauernd bewohntes Bauerndorf kann daher eine gleich hohe Phosphatanreicherung im Boden hervorrufen wie ein in 1000 Jahren nur zeitweise aufgesuchter Lagerplatz.

[1]) J. LIESE, Das Aachener Land in der Steinzeit. Aachener Beiträge zur Heimatkunde 8. Aachen 1930.

[1]) J. ANDREE, Der eiszeitliche Mensch in Deutschland und seine Kulturen 625/626. Stuttgart 1939.

Kennt man aber sowohl die Wirtschaftsweise wie die Art der Besiedlung, so kann man aus der Höhe des Phosphatgehaltes bei gleichgearteten Siedlungen mit ziemlicher Sicherheit die zeitliche Dauer des Bestehens wenigstens relativ bestimmen.

In der Praxis wird man nicht immer auf unveränderte Phosphatkurven der geschilderten Art treffen, da die meisten Räume nicht nur während einer einzigen Kulturperiode, sondern bis zur Gegenwart besiedelt oder wirtschaftlich genutzt wurden, so daß sich oft mehrere Kurven übereinanderlegen und eine zuweilen sehr komplizierte Summenkurve ergeben. Am günstigsten liegen die Verhältnisse in solchen Gebieten, in denen die Düngung unbekannt ist oder nur in geringem Umfange angewandt wird. *In Mittel- und Westeuropa aber werden die alten Phosphatanreicherungen meist überlagert von den durch die neuzeitliche Düngung geschaffenen.* Zwecks Herausarbeitung einer alten Phosphatkurve muß man daher von der durch die Untersuchung gewonnenen Summen-

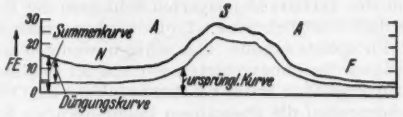

Fig. 2. Überlagerung alter Phosphatanreicherungen durch Düngerphosphate.

kurve stets die durch die heutige Wirtschaftsweise bedingte Düngungskurve abziehen, wie dies Fig. 2 schematisch zeigt. Da sich die Kurven aller Streu-, Ausbreitungs- und Stapeltypen je nach dem im Untersuchungsgebiet erfolgten Wirtschaftswechsel übereinanderlegen können, sind alle möglichen Kombinationen zu finden. Auf dem Falkenberg (Albuch) lag z. B. unmittelbar neben einer früheisenzeitlichen Siedlung mit ortsständiger Viehzucht (Stapeltyp A) ein mittelalterlicher Weiler mit geringer Düngung auf den benachbarten Hochäckern (Mischung zwischen Ausbreitungstyp B und Stapeltyp B). Auf den Liashöhen zwischen Rems und Lein überlagerten sich in den Flurteilen Enzelbach und Löcherwasen der Gemarkung Alfdorf sogar je 3 Kurven: auf eine Kurve vom Streu- oder Ausbreitungstyp folgte eine zweite Kurve vom Ausbreitungstyp B, die von einer mittelalterlichen Wüstung stammte, und darüber noch die neuzeitliche Düngungskurve. In den meisten Fällen wird allerdings nur der in Fig. 2 skizzierte Fall einer Überlagerung durch die heutige Düngungskurve eintreten, doch kann letztere in Gegenden primitiver Wirtschaftsweise oder in den ungedüngten Waldgebieten der Kulturstaaten ganz oder teilweise in Wegfall geraten, so daß aus der Phosphatkarte die Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung ohne Schwierigkeiten abgelesen werden kann.

IV.

Nachdem so die Art der Ablagerung im großen betrachtet wurde soll nun das *Zustandekommen der Phosphatanreicherungen im Boden* beschrieben und die darauf beruhende Art der Probenahme gerechtfertigt werden. Die in und um Siedlungen, auf Verkehrsbändern und auf dem Wirtschaftsland zur Ablagerung gelangenden Abfallstoffe, wie Exkremente, Tierkadaver, Leichen, Schlachthofabfälle, Nahrungsmittel- und Futterreste, Asche, Kehricht, Baumlaub, Straßenstaub, Bauschutt u. dgl. enthalten meist mehr oder weniger große Mengen Phosphorsäure. Der aus Einstreu, Kot und Harn bestehende Stallmist von Rindern weist z. B. 0,20% Phosphorsäure auf, menschliche Fäkalien sogar bis 1,0%; Heu enthält 0,65% Phosphorsäure, Getreidestroh 0,3%, während Getreidekörner 0,85% aufweisen[1]); Knochen werden sogar bis zu einem Viertel ihres Trockengewichtes von Phosphorsäure gebildet. Da der tierische Körper relativ phosphatreicher ist als der pflanzliche, sind die Abfälle in Jäger-, Fischer- und Viehzüchtersiedlungen reicher an P_2O_5 als in Siedlungen mehr vegetarisch lebender Pflanzenbauern. Die Abfälle häufen sich teils in und um die Hütten, teils werden sie wie die menschlichen Exkremente außerhalb der Siedlungen in deren unmittelbarer Nähe abgesetzt, wie z. B. bei Indern und manchen Negervölkern[2]). Da der Mensch seit Einführung der Düngung einen Teil dieser Abfallstoffe sammelt und zusammen mit künstlichen Düngestoffen (Thomasmehl, Rohphosphaten, Nitrophoska, Superphosphat, Knochenmehl usw.) zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit auf dem Wirtschaftsland ausbreitet, findet auch in einem von der Siedlung zur Grenze des Wirtschaftslandes und von den Wegen zum wegfernen Gelände abnehmenden Maße eine Anreicherung phosphathaltiger Stoffe auf der Bodenoberfläche statt[3]).

Durch Zersetzung, Auslaugung, Untergrabung, Wühlarbeit von Tieren u. dgl. gelangen die Phosphate in den Boden, wo die Phosphorsäure durch chemische, physikalische und biologische Kräfte festgelegt wird, bei Düngung meist schon in den obersten 5 cm. *Durch die rasche Festlegung des größten Teiles der Phosphate entfernt sich die Phosphorsäure nur wenig vom Orte ihrer Einbringung, und zwar am wenigsten in kalk-, eisen- und tonerdereichen Böden*[4]), *während in grobem Sandboden die Gefahr einer teilweisen Auswaschung durch das Sickerwasser besteht*[5]). Ein Teil der

[1]) M. POPP, Landwirtschaftliche Düngung. Handbuch der Bodenlehre **9**, 208—267 (1931).

[2]) G. NACHTIGALL, Die Bedeutung des Bodens in der Hygiene. Handbuch der Bodenlehre **10**, 207—258 (1932).

[3]) Vgl. Fig. 2 und 3 bei O. ARRHENIUS, Die Phosphatmethode I. Z. Pflanzenernährg, Tl. A **14**, 121 bis 140 (1929)

[4]) A. GEHRING, Die Bodenabsorption und der Basenaustausch in ihrer Bedeutung für den Fruchtbarkeitszustand des Bodens. Handbuch der Bodenlehre **8**, 183—317 (1931).

[5]) Vgl. die Beispiele Rotensteinichen und Nißlitz bei W. LORCH, Methodische Untersuchungen zur Wüstungsforschung, Arbeiten zur Landes- und Volksforschung **4**, 68—70. Jena 1939.

Phosphate bleibt leichtlöslich, wobei Azidität, Kalkreichtum und Lebewelt des Bodens eine Rolle spielen, und kann von den Pflanzenwurzeln aufgenommen und zum Bau des Pflanzenkörpers verwendet werden. Sofern die Pflanzen nicht geerntet, d. h. massenweise vom Entstehungsorte entfernt werden, gelangen diese Phosphate beim Absterben der Pflanze wieder in den Boden zurück, so daß der Anteil der Phosphorsäure im Boden nach der Einbringung ziemlich konstant bleibt. *Die Wühlarbeit von* Regenwürmern, Maulwürfen, Kaninchen, Hamstern, Mäusen, Füchsen, Dachsen und anderen erdbewohnenden *Tieren, sowie die Arbeit von Pflanzenwurzeln und Naturkräften* (Verschwemmung, Rutschungen, lokale Sackungen usw.) *bewirken eine ständig fortschreitende Vermischung der einzelnen Bodenbestandteile, so daß die anfänglich nestartige Verteilung der Phosphorsäure immer gleichmäßiger wird.*

In den vom Menschen bewirtschafteten Bodenstücken wird dieses einfache Bild durch Ernte, Düngung und Bodenbearbeitung gestört. Schon bei mittleren Ernten werden dem Boden durchschnittlich 100 kg Phosphorsäure auf 1 ha entzogen[1]); dieser Nährstoffentzug muß durch Zufuhr von Dünger wieder ausgeglichen werden. Da nun aber ein großer Teil der im Dünger enthaltenen Phosphate, etwa 60—85 %[2]), sofort nach der Einbringung durch Absorption in für die Pflanze unverwertbare Verbindungen übergeführt wird, ist auf gedüngtem Land eine allmählich immer größer werdende Speicherung unlöslicher Phosphate festzustellen. Durch die landwirtschaftliche Bearbeitung werden die obersten Bodenschichten, beim Pflügen z. B. die obersten 15—30 cm, gründlich durcheinandergemengt und so die bodenmischende Arbeit der Maulwürfe und Regenwürmer verstärkt. Da die Heranschaffung und Ausbreitung des Düngers Mühe verursacht, werden die einzelnen Teile des Wirtschaftslandes nicht überall gleich stark gedüngt, sondern am stärksten in der Nähe der Siedlungen sowie längs der Feldwege, und zwar besonders an Wegkreuzungen, wo auch häufig Komposthaufen errichtet werden; weg- und siedlungsferne Grundstücke erhalten dagegen seltener und weniger Düngung.

Sofern nun keine weiteren Veränderungen eintreten, ist die Ermittelung der Phosphatanreicherungen ziemlich einfach. Anders liegt der Fall, wenn zwischen der Ablagerung der phosphathaltigen Stoffe und dem Versuch ihrer Feststellung die alte Bodenoberfläche überschüttet wurde. Während Phosphatanreicherungen in Geländestücken, die einer starken Abtragung unter dem Zusammenwirken von Wind, Wasser und Erdanziehung ausgesetzt sind, durch ihre mindestens teilweise Erhaltung an geschützteren Stellen oder in sekundärer Lagerung immer noch nachzuweisen sind, können überschüttete Geländestücke mittels Entnahme von Oberflächenproben nicht mehr erfaßt werden. Wasser- oder moorbedeckte Böden, durch Planierungen mit Müll u. dgl. erhöhte Geländestücke, von künstlichen Böden (z. B. Plaggenböden) bedeckte oder unter Dünen, Gehängeschutt, Bergrutschen, Alluvionen u. dgl. liegende alte Oberflächen entziehen sich wenigstens teilweise der Untersuchung auf ihren Phosphatgehalt mittels der siedlungsgeographischen Phosphatmethode, sofern man nicht zur Entnahme von Tiefenproben übergeht, die aber nur bei wenig fortgeschrittener Ausbildung von Bodenhorizonten in den neugeschaffenen Böden angebracht ist.

Auch die Phosphatmethode ist also nicht imstande, die gesamte Beeinflussung des Bodens durch den Menschen aller Zeiten hundertprozentig zu ermitteln, was sowieso nur durch eine völlige Durchwühlung und Untersuchung aller seit dem Ende des Tertiärs abgelagerten Schichten der Erdoberfläche möglich wäre. Trotzdem kann man mit der Phosphatmethode, von einigen wenigen ausgeprägten Senkungsgebieten mit starker Sedimentation abgesehen, selbst bei Beschränkung auf Oberflächenproben die ehemaligen langdauernden Einwirkungen des Menschen auf den Boden zu 80 bis 90 % erfassen und den Rest im Bereich überdeckter Oberflächen durch Analogieschlüsse rekonstruieren.

Was die Entnahmedichte, also die Entfernungen der Entnahmepunkte der Bodenproben voneinander anbetrifft, so hat die Erfahrung gezeigt, daß Abstände von 50 m am geeignetsten sind, da dadurch alle in einem Umkreis von 25 m befindlichen Phosphatanreicherungen zumindest angeschnitten werden, so daß bei linearer Entnahmeart ein 50 m breiter Geländestreifen im Untersuchungsgebiet vollständig erfaßt wird.

V.

Die chemische Untersuchung der gesammelten Bodenproben geht von der in der Stahl- und Düngemittelindustrie, sowie der schwedischen Bodenkunde[1]) üblichen Molybdänblaumethode aus, bei der Ammoniummolybdat in Gegenwart von Phosphat und einem Reduktionsmittel eine Blaufärbung ergibt, deren Intensität mit dem Gehalt an Phosphat zunimmt. Das durch Reduktion der Phosphormolybdänsäure mittels Hydrochinon-Alkalisulfit entstehende Molybdänblau wird durch Photometer kolorimetrisch bestimmt, bei der siedlungsgeographischen Phosphatmethode dagegen lediglich unter Verwendung von Standardwerten bezüglich seiner Intensität geschätzt. Die Schätzung ist ausreichend genau, während die kolorimetrische Bestimmung teure Apparate und viel Zeit erfordert, wobei die gemessene Färbung nicht einmal eine

[1]) F. SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, Chemische Beschaffenheit des Bodens. Handbuch der Bodenlehre Erg.-Bd. 1, 275—376 (1939).

[2]) Vgl. O. LEMMERMANN, Die Bestimmung der relativen Löslichkeit der Phosphorsäure im Boden. Handbuch der Bodenlehre 8, 174—183 (1931).

[1]) O. ARRHENIUS, Die Phosphatmethode II. Z. Pflanzenernährg, Tl. A 14, 185—194 (1929) — Markundersökning och arkeologie. Fornvännen 30, 565 bis 576 (1935).

lineare Funktion des Phosphatgehaltes darstellt. Methodisch falsch wäre es, eine größere Genauigkeit zu erstreben, als für die betreffende Untersuchung erforderlich ist. Im Unterschied zu den nunmehr 27 bodenkundlichen Methoden zur Bestimmung der pflanzenverfügbaren Phosphate, wie z. B. der jetzt zum Sieg gelangten Keimpflanzenmethode von NEUBAUER, den chemischen Methoden von MØLLER, EGNÉR, ROHDE, RUSSEV, BONDORFF, KIRSANOFF, 'SIGMOND, TRUOG, der Verwendung von Elektrodialyse und Elektro-Ultrafiltration, den biologischen Methoden, der Anwendung von Kolorimetrie und Nephelometrie usw.[1]) *wird bei der siedlungsgeographischen Phosphatmethode nicht die zitronensäurelösliche Phosphatsäure bestimmt, sondern* durch die im Entwickler befindliche Schwefelsäure *der allergrößte Teil der Gesamtphosphorsäure* gelöst, von der die zitronensäurelösliche nur einen geringen und zudem schwankenden Prozentsatz ausmacht, und ohne Entfernung der Bodenprobe im Reagensglas der Einwirkung von Ammoniummolybdat und Hydrochinon-Natriumsulfit ausgesetzt.

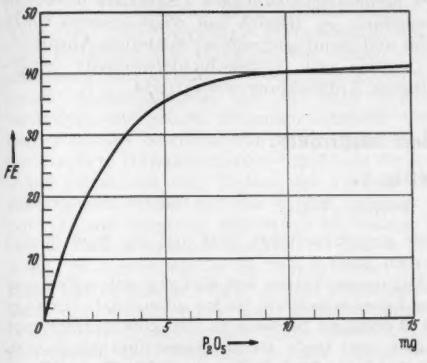

Fig. 3. Beziehungen zwischen FE. und P_2O_5.

Die Schätzung der Molybdänblau-Intensität muß möglichst bald erfolgen, da die Färbung wenig haltbar ist. Wenn im Gegensatz zu den bodenkundlichen Methoden der Phosphatgehalt nicht in Prozent oder Milligramm P_2O_5, sondern in FE. (Farbeinheiten) ausgedrückt wird, so rührt dies von den sich aus der besonderen Fragestellung ergebenden Anforderungen an die Methode. Zunächst einmal bestimmt über die Zweckmäßigkeit einer Maßangabe nur der besondere Zweck; da es sich bei den siedlungsgeographischen Untersuchungen historischer und genetischer Art nur darum handelt, den relativen Verlauf der Phosphatkurve und deren relative Höhe festzustellen, ist es zweckmäßiger, die geringeren Phosphatanreicherungen genauer zu bestimmen als die beträchtlichen, da die Deutung der letzteren als ehemalige Wohnplätze weiter keine Schwierigkeiten macht. Ferner erhält man mit der benutzten Art der Schätzung stets ganze und handliche Werte statt unübersichtlicher Dezimalbrüche. In Fig. 3 ist das Verhältnis zwischen FE. und P_2O_5 in Form einer Kurve dargestellt.

Bei der chemischen Untersuchung wird auch das Vorhandensein von Kalk und Knochenleim festgestellt. Ganz allgemein hat sich ergeben, *daß zwischen der Höhe des Kalk-, Knochenleim- und Phosphatgehaltes eine direkte Korrelation besteht.* Während an ehemaligen Wohnplätzen kalkreicher Boden viel Knochenleim und Phosphat aufweist, fehlt auf kalkarmem Sandboden jegliche Spur von Knochenleim und ist der Phosphatgehalt relativ gering. Der Grund hierfür besteht in der geringeren Auswaschbarkeit der Phosphorsäure und der größeren Haltbarkeit des Knochenleims in Kalkböden.

VI.

Wie jede Methode hat auch die siedlungsgeographische Phosphatmethode ihre bevorzugten *Anwendungsgebiete*, aber auch ihre *Fehlerquellen und Grenzen*. An Schnelligkeit, Einfachheit und Billigkeit kaum erreichbar ist sie beim Aufsuchen und Lokalisieren von ehemaligen Siedlungen. Ohne Kenntnis der schriftlichen oder mündlichen Überlieferung kann man sich durch die Entnahme und Untersuchung von einigen wenigen Bodenproben über das Vorhandensein oder Fehlen eines früheren Wohnplatzes an einer hierauf verdächtigen Stelle unterrichten. Auch größere Räume kann man durch zahlreiche Oberflächenproben auf Phosphatanreicherungen hin untersuchen, die dann den oben skizzierten Phosphatkurven zugewiesen und entsprechend gedeutet werden. Während in den heutigen Hochkulturstaaten die geringeren Phosphatanreicherungen der Vergangenheit durch die ungleichmäßige moderne Düngungskurve verwischt oder gar ausgeglichen sind, kann in den übrigen Gebieten *eine synoptische Karte der gesamten Siedlungsentwicklung* mindestens für die postglaziale Zeit *mittels der Phosphatmethode* gewonnen werden.

Dabei sind die Fehlermöglichkeiten verhältnismäßig gering. Selbst ein höherer natürlicher Phosphatgehalt des Bodens, wie er auf manchen Eruptivgesteinen anzutreffen ist, vermag den Aussagewert der Phosphatkurve nicht wesentlich zu beeinträchtigen, da von der dann dreigliedrigen Summenkurve ja nur auch noch die ursprünglichste Kurve, nämlich die ziemlich konstante Kurve des natürlichen Phosphatgehaltes abgezogen zu werden braucht. Auch der entgegengesetzt wirkende Einfluß der Auswaschung, die auf verschiedenen Böden verschieden groß ist, kann bei genügender Erfahrung richtig in Rechnung gestellt werden. Die durch die Schätzung entstehenden Fehler sind, wie die Erfahrung gezeigt hat, unbedeutend und vermögen vor allem den für die Deutung so wichtigen Verlauf der Phosphatkurve kaum zu beeinflussen. Nichtberücksichtigung der Abschwemmung oder der durch Zufälligkeiten aller Art (z. B. durch Komposthaufen) möglichen, räumlich aber eng

[1]) F. SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, a. a. O. (1939).

beschränkten Phosphatanreicherungen u. a. m. bei der Ausdeutung sind Fehlerquellen, die ebenfalls mit wachsender Erfahrung immer geringere Bedeutung erhalten. Auch die Gefahr, durch Planierungsarbeiten hervorgerufene Phosphatanreicherungen für solche primärer Lagerung anzusehen, ist durch Befragung von Ortskundigen oder Benutzung alter Karten vermeidbar. Eine allerdings seltene Fehlerquelle stellt dagegen die Möglichkeit der Entstehung von Phosphatanreicherungen durch die Tätigkeit von Tieren dar, wie etwa auf Guanoinseln, Vogelfelsen und anderen Nistplätzen, oder an häufig besuchten Tränkestellen, Salzlecken u. dgl. Kombiniert man aber die Phosphatmethode mit einer sich anschließenden Grabung oder Suche nach Artefakten, so ist auch diese Fehlermöglichkeit ausgeschaltet.

Eine Ausgrabung oder sonstige Artefaktsuche an einer als phosphatreich festgestellten Stelle wird schon aus dem einen Grunde in den meisten Fällen erforderlich sein, weil die Phosphatmethode leider nur über Art und Dauer einer ehemaligen Siedlung, nicht aber über deren Alter, d. h. deren zeitlichen Abstand von der Gegenwart Aufschluß zu geben vermag. *Lage, Ausdehnung, Dauer und Wirtschaftscharakter von Siedlungen lassen sich mit der Phosphatmethode feststellen, ferner Wege,* die ja teilweise vom Neolithikum bis zur Neuzeit infolge des gerade beim Verkehrswesen besonders starken Beharrungstriebes des Menschen gleiche Linienführung bewahrten, sowie endlich *bestimmte Wirtschaftsformen und Düngungsmethoden.* Die Bedeutung dieser Methode für die Vorgeschichte, bei der vielfach für ganze Perioden zu Gräbern u. dgl. gehörige Siedlungen unbekannt sind, für die Wirtschafts- und Verkehrsgeschichte, die Burgen- und Wüstungsforschung, die Ermittelung der Bevölkerungsdichte und der Siedlungsräume vergangener Zeiten, die Alluvialgeologie und Geomorphologie (Feststellung von Abtragungs- und Aufschüttungsvorgängen!) u. a. m. ist noch gar nicht zu überblicken. Darüber hinaus hat diese Methode auch noch insofern allgemeine Bedeutung, als sie *trotz ihres naturwissenschaftlichen Charakters bevorzugte Anwendung im Bereich von Geisteswissenschaften* findet und damit eine von der modernen Anthropogeographie und Vorgeschichtsforschung eingeschlagene Entwicklung weitertreibt.

Das Leben eines großen Sammlers.
Alexander Koenig †.

Von KONRAD GUENTHER, Freiburg i. Br.

Am 16. Juli 1940 entschlief sanft im 83. Lebensjahr Geh. Reg.-Rat Univ.-Professor Dr. phil. et med. h. c. ALEXANDER KOENIG auf seinem Gute Blücherhof in Mecklenburg. Der Verstorbene hat in dreifacher Hinsicht ein bleibendes Andenken hinterlassen: als hervorragender Ornithologe, als Schöpfer und Stifter wohl des schönsten zoologischen Museums in Deutschland, und als ein Mensch mit einem großen und warmen Herzen.

Wie KOENIG den Beruf eines Vogelforschers auffaßte, sagte er selbst in seiner Festrede zur Eröffnungsfeier seines Museums 1934, die allen Teilnehmern unvergeßlich ist: „Nur der kann erst Ornithologe *werden*, der von Jugend an mit der Flinte in der Hand, mit dem Schlaggärnchen unter dem Arm seine heimatlichen Wälder, Felder, Triften, Auen, Bäche und Flüsse durchwandert hat und der stundenlang eingegraben an der Meeresküste zu jeder Tag- und Nachtzeit gelegen und bei Ebbe und Flut die abwandernden und wieder zuziehenden Vögel beobachtet hat. Aber nicht allein sie beobachtet, sondern auch geschossen, sie präpariert, mit dem Skalpell ihren Leibesbau zergliedert, mit der Lupe vor dem Auge den wunderbaren Aufbau der Federn wahrgenommen und schließlich auch mit dem Mikroskop das Gewebe und die übrigen Feinheiten des Vogelkörpers in sich aufgenommen hat — der erst kann Anspruch auf den Namen eines Ornithologen erheben." Und ein wenig weiter heißt es vom Jäger: „Den Jäger, den echten deutschen Jäger macht einzig und allein das Glück aus, daß er einem solchen Wilde gegenüberstehen darf und die Jagd darauf ausüben kann."

Mit diesen Sätzen hat KOENIG sich selbst und seine Lebensarbeit am besten gezeichnet, Forscher und Weidmann bildeten in ihm eine untrennbare Einheit, und beide Berufe waren ihm angeboren. Daß er aber sein Leben so gestalten konnte, wie es seiner Veranlagung entsprach, das verdankte er, wie er oft hervorgehoben hat, seinem Vater, der ihn wirtschaftlich vollkommen unabhängig machte. Dieser Vater war als „Zuckerkönig" in ganz Rußland und darüber hinaus bekannt, er besaß eine Zuckerfabrik in St. Petersburg und Latifundien von der Größe eines deutschen Fürstentums in Südrußland, wo er den Zuckerrübenbau eingeführt hatte. Vom Vater hatte KOENIG die Großzügigkeit, in Rußland nannte man das eine „breite Natur", das sichere Auftreten, das Bestreben, immer so zu sprechen wie er dachte, und den Fleiß. Die Mutter vererbte ihm ihr kindlich frommes Gemüt, das ihm bis an sein Ende eigen war.

In St. Petersburg, wo die Eltern einen Sommer- und Winterwohnsitz besaßen, wurde KOENIG geboren. In dem weiten Park mit seinen Gewächshäusern sowie während des Sommeraufenthalts im Schwarzwald oder am Rhein gab es für den Knaben genug Gelegenheit, dem Tier- und Pflanzenleben nachzugehen. Schon mit 6 Jahren hielt er sich Käfer in einer Schachtel, nicht viel später warf er die Angel aus, aber auch die Haustiere fesselten ihn, vor allem die prachtvollen russischen Pferde

mit den langwallenden Mähnen und Schweifen, die jedem unvergeßlich sein werden, der sie im alten Rußland sah oder gar mit ihnen fahren durfte.

Als KOENIG 10 Jahre alt war, verlegten die Eltern ihren Wohnsitz nach Bonn. Die Villa Koenig hatte einen Park, der bis zum Rhein hinunterging, und da trat die Fischwelt in den Vordergrund der Anteilnahme des Knaben, besonders die Stichlinge mit ihrem Nesterbau, Lieblinge wohl jedes Aquarienbesitzers. Beim Anlegen von Insektensammlungen stellte der Knabe fest, was der Forscher später auch bestätigte, daß die Insektenwelt des Rheinlandes gegenüber der der Umgebung von St. Petersburg geradezu dürftig genannt werden mußte. Bald kamen auch die Vögel dran; aus 3 Ziegelsteinen erbaute KOENIG eine Spatzenfalle, streute den Goldammern Futter und veranlaßte den Diener, sie zu schießen, und bei einem Besuch der alten Heimat kaufte der Knabe auf dem Vogelmarkt Birkenzeisige, um sie zum Entsetzen des Händlers vor dessen Augen allsogleich totzudrücken. Doch fügt KOENIG in seiner Autobiographie, die er 1938 privatim herausgab und seinen Freunden schickte, hinzu, daß er damals beschämt von dannen ging, als ihm der empörte Händler in einer Schublade die toten Vögel zeigte, die den Verlust der Freiheit nicht überstanden hatten und die er ihm umsonst anbot. Es war eben der zukünftige Museologe, der sich so früh bemerkbar machte. So ging er auch, sobald er eine Flinte in die Hand bekam, es geschah mit 16 Jahren, nicht nur dem Wilde, sondern auch den Vögeln nach, und seine Sammlungen beanspruchten immer mehr Raum, kamen aus dem Erdgeschoß der Wohnung in das Gewächshaus und nahmen hierauf den ganzen oberen Stock des Portierhauses in Anspruch.

Daß der Vater recht hatte, wenn er seinem Sohn den Spruch vorhielt:

Fische fangen, Vogelstellen,
Verdarb schon manchen guten Gesellen

zeigte sich in der Schule, in der es KOENIG durchaus nicht glücken wollte. Erst als er nach dem Besuch der Schulen in Bonn und Kösen in das Arnoldinum-Gymnasium von Burgsteinfurt in Westfalen kam, fand er Lehrer, die für seinen leicht aufbrausenden Charakter und seine für manche Fächer ungeeignete Veranlagung Verständnis hatten und den Knaben zu leiten verstanden, wie denn KOENIG dieser Lehrer bis zu seinem Ende in tiefer Dankbarkeit gedachte, übrigens ebenfalls eine schöne Seite seines Wesens, denn Dankbarkeit ist die vornehmste der Tugenden. Und seinem durch und durch konservativen Charakter entsprach es, daß er mit seinen Schulkameraden auch im späteren Leben in Verbindung blieb und aus ihnen sich seine Freunde wählte, die er auch zu seinen großen Reisen einlud. Daß aber KOENIG in Burgsteinfurt „eine goldene Jugendzeit" verleben durfte und das Städtchen „wie eine traute, liebliche Oase" in seiner Erinnerung leuchtete, lag daran, daß auch dem Tier- und Vogelherzen Genüge geschah: er sah die erste Seeschwalbe, lernte das fesselnde Volk der Wasserkäfer kennen, erkannte an einer erlegten „Heidelerche" mit Hilfe des Buches von A. BREHM, daß es sich um einen Baumpieper handelte, kurz, er lernte durch eigenes Studium, sich in der belebten Natur immer besser zurechtzufinden. Und jeder, der in seiner Jugend einen ähnlichen Weg gegangen ist, wird ihm beistimmen, wenn er sagt: „Ich kenne eigentlich keinen größeren Reiz, als autodidaktisch in einer Disziplin vorwärtszuschreiten."

Wie gut es die Lehrer von Burgsteinfurt verstanden, ihre Schüler auch für die klassischen Sprachen zu begeistern, zeigt sich auch darin, daß KOENIG für sein ganzes Leben eine Anteilnahme für diese Sprachen verblieb. In seinen ornithologischen Werken geht er gern auf die Bedeutung der wissenschaftlichen Namen der Vögel ein und unterläßt es nicht, einen schneidigen Husarenritt „gegen die wulstige, häßliche Schreibweise der wissenschaftlichen Namen" zu reiten, so gegen die dreifache Nennung eines gleichlautenden Namens zur Bezeichnung einer Art, die er „mit einer Geburt aus dem Narrenhause" vergleicht; auch lehnt er den „Unsinn" ab, Eigennamen klein zu schreiben. Doch gelang das Abiturium nicht, und KOENIG mußte, nachdem er schon in Greifswald die akademische Freiheit gekostet hatte, noch einmal auf die Schulbank zurück. Aber auch da hatte es das Schicksal, wie er schreibt, mit ihm gut gemeint. In dem kleinen pommerschen Städtchen Demmin lernte er seine zukünftige Gattin kennen, von der er sagt, daß er ihr sein ganzes Glück verdanke. Sie wurde seine treueste Mitarbeiterin und die unermüdliche Begleiterin auf seinen Reisen.

Nach Erlangung der Reife studierte KOENIG weiter in Greifswald, wo Segeljachten im Bodden und Eiersammeln auf Hiddensee dem Jäger und Sammler Genüge taten, dann in Berlin, Kiel und Marburg, und 1884 promovierte er auf letzterer Universität bei GREEF mit einer Arbeit über Mallophagen. Diese Federläuse gaben Gelegenheit zur Jagd auf Wasseramseln und Eisvögel, in deren Federn damals noch unbekannte Arten der Mallophagen lebten. Die Hochzeit schloß sich an, die Promotion und die Studien wurden nun im Verein mit der jungen Gattin auf Sylt, in Cannes und in Neapel fortgesetzt. Mit einer Arbeit über die Systematik der Fische an der Zoologischen Station zu Neapel und einer zweiten über die Avifauna von Tunis schloß KOENIG seine wissenschaftlichen Lehrjahre ab und habilitierte sich mit letzterer Arbeit 1888 an der Bonner Universität bei Prof. FRANZ v. LEYDIG, der damals vertretungsweise den zoologischen Lehrstuhl übernommen hatte. 1894 wurde KOENIG Professor.

Das Thema der Habilitationsarbeit zeigt bereits einen weiteren Zug in dem Wesen KOENIGS an, der Drang in die Ferne. Man möchte denken,

er hätte die Wanderlust von den Vögeln übernommen, die immer mehr in den Vordergrund seiner Studien traten, um sie schließlich ganz zu beherrschen. So galt schon sein erster Versuch wissenschaftlich-schriftstellerischer Tätigkeit der Vogelwelt von Capri, im Journal für Ornithologie 1886 veröffentlicht. Die erste Tunisreise wurde 1885 unternommen, 1886 folgte eine zweite nach dieser damaligen Regentschaft und 1891 die dritte. Auch Tripolis und Algerien, besonders die Oase Biskra, wurden besucht (1892 und 1893) und 1898 ein Kamelritt von Sues durch das Sinaigebirge nach Jerusalem unternommen. Die ornithologischen Ergebnisse wurden unter Beifügung farbiger Tafeln fortlaufend im Journal für Ornithologie veröffentlicht, doch versäumte KOENIG nicht, auf seinen Reisen auch Insekten und Reptilien zu sammeln, deren Bestimmung und Bearbeitung er Fachleuten übergab. Eine beliebte Vogelinsel blieb ihm Helgoland, wo er den von ihm hochverehrten Begründer der Vogelwarte, HEINRICH GÄTKE, kennenlernte. Die Canarischen Inseln gaben Gelegenheit zu weiteren Studien, aber immer mehr wurde das nordöstliche Afrika das bevorzugte Forschungsgebiet des Vogelforschers. Nur in den Jahren 1905, 1907 und 1908 wurden die afrikanischen Reisen durch solche nach Spitzbergen und der Bäreninsel unterbrochen, wozu ein eigener Dampfer gechartert wurde. Mit einem ganzen Stabe eingeladener gleichgesinnter Gäste brach KOENIG zu diesen Reisen auf, deren wissenschaftliche Ergebnisse das umfangreiche Werk „Avifauna Spitzbergensis" (1911) brachte, das mit prachtvollen Tafeln und lehrreichen Textbildern ausgestattet ist und in dessen Anhängen auch die erbeuteten Insekten, Spinnen und Pflanzen von Fachleuten bearbeitet sind.

Den Höhepunkt im Erleben einer unendlich reichen Vogelwelt gaben aber die Reisen in Ägypten und im Sudan. 1896 fuhr das Ehepaar KOENIG nach Port Said. Die rosenroten Flamingos auf dem blauen Wasserspiegel, die ihn durchfurchenden Pelikane, die Tausende von Enten, die Wasserläufer am Ufer, der unter sie fahrende Horusfalke (Falco tanypterus) und der ins Wasser stürzende Graufischer begeisterten KOENIG schon auf der Fahrt nach Kairo am Mensalehsee entlang, und ebenso die im eleganten Sturzflug mitten in enge Gassen herabstürzenden Schmarotzermilane in der Stadt selbst; solche Erlebnisse sind auch dem Verfasser dieser Zeilen unvergeßlich. Dagegen mußte man schon KOENIGS Mittel zur Verfügung haben, um sich wohl der schönsten Art einer Reise hingeben zu können, nämlich auf einer gemieteten „Dahabiye", das heißt einem Segelschiff mit Schlafkabinen und Veranda, auf dem man wie von einer idealen Wohnung aus das Vogelleben auf dem Nil und die alten Tempel, an denen man landete, bewundern konnte. Immerhin beklagt sich auch KOENIG über die hohen Preise Ägyptens im Gegensatz zu den niederen der französischen Kolonien, was bei ihm „die schon stark ausgeprägte Abneigung gegen die Söhne Albions noch steigerte". Auf dieser Fahrt fielen besonders der Sporenkibitz, der Krokodilwächter als der lebendige Zahnstocher der großen Echsen und der Scherenschnabel (Rhynchops flavirostris) auf. „Den langflügeligen Seeschwalben angegliedert, treibt dieser Vogel im Dämmerlichte und in der Nacht sein Wesen über den schlammigen Fluten, indem er seinen seitlich komprimierten Schnabel ins Wasser taucht und die Oberfläche in des Wortes vollster Bedeutung pflügt, die Mikroorganismen in seinem hamenartig gestalteten Unterkiefer sammelnd und gleichzeitig das Wasser seitlich abfließen lassend." In Luxor, Assuan und Wadi Halfa endete diese Reise, hier lernte KOENIG den Afrikaforscher GEORG SCHWEINFURTH kennen, dem er auch sein Werk über die Sänger Ägyptens als dem „bedeutendsten Afrikaforscher aller Zeiten" widmete, und mit dem ihn von da an eine verehrungsvolle Freundschaft verband.

1899 wurde die Dahabiyenfahrt wiederholt, und 1903 schloß sich an sie eine Durchquerung der berüchtigten Bajudasteppe mit einer Kamelkarawane an, von Merowe bis Berber. Auf dieser Reise wurde Frau KOENIG von einer schlimmen Zahnwurzelentzündung mit steigendem Fieber überfallen, die sie an den Rand des Todes brachte, bis bei der Ankunft in Berber ihr ein syrischer Arzt durch eine Operation das Leben rettete.

Die reichsten Ergebnisse im gesamten Forschungsleben KOENIGS brachten die beiden Nilfahrten auf gemietetem Regierungsdampfer in den Jahren 1910 und 1913. Die erste ging den Weißen Nil hinauf bis zum Zusammenfluß des Bahr el Ghasal und Bahr el Dschebel, die zweite folgte dem Gazellenfluß bis Meschra el Req und befuhr dann den dritten Quellfluß des Weißen Nils, den Bahr el Seraf. Eingeladene Gäste, sein Assistent Dr. LE ROI, seine beiden Präparatoren begleiteten außer seiner Frau den Vogelforscher. „Ich entsinne mich noch sehr wohl," so schreibt KOENIG, „welch unauslöschlichen Eindruck auf mich als Knaben ALFRED BREHMS ‚Leben der Vögel', das für mich eine Art Bibel war, machte, und daß ich kaum glauben konnte, daß all die vielen Vögel, die eine Winterherberge aufsuchten, in solcher Gedrängtheit am Nil vorkommen könnten. Und nun sah ich das selbst. ‚Donnerwetter, Donnerwetter', rief ich einmal über das andere aus, während das Triederglas nicht von meinen Augen kam, ‚seht euch mal nur dieses an, man glaubt es ja nicht, selbst wenn man es sieht!' Die Sandbänke sind buchstäblich bedeckt von Nilgänsen und Rostenten. Tausende und aber Tausende von Uferschnepfen stehen im seichten Uferwasser, so daß von weitem der Eindruck erweckt wird, als seien lauter Stäbchen von Eingeborenen vor der Insel angebracht worden, Herden von Pelikanen fischen dazwischen. Reiher aller Arten stolzieren und werden ihrerseits wieder überboten von Scharen von Kranichen, Störchen, Nimmersatten, Ibissen und Gott weiß was für

Stelzvögel noch. Während das Schiff die trüben Fluten durchfurcht, lösen sich wie Punkte auf dem Wasser erscheinende Lebewesen in Schwärmen vor uns auf, worunter wir Spieß-, Krick-, Knäck-, Pfeif-, Löffel-, Berg- und Reiherenten erkennen. Später berausche ich mich am Anblick der ersten Scharlachspinte (Merops nubicus). Leuchtend rot heben sich die schönen Geschöpfe, von der eben aufgehenden Morgensonne überflutet, von der Uferwand ab, an der sie sich zu vielen Hunderten versammelt haben. Da steigt der Schwarm in die Luft, unbeschreiblich in der Gestalt, geradezu feenhaft in der Farbe, um gleich darauf mit ausgebreiteten Schwingen schwalbenartig dahinzugleiten, bis sich alle zusammen auf einen im Strom schräg liegenden Baum setzen, dessen kahle Äste sie im Augenblick wie mit köstlichen Scharlachblüten übersäen — ein Anblick für Götter!"

„Wir waren eben in den Gazellenfluß eingefahren, als wir auch schon das Ziel unserer Sehnsucht erblickten, den Schuhschnabel, den Abu-Markub der Eingeborenen (Balaeniceps rex). Ich ließ das Schiff langsam darauf losfahren und erlegte ihn mit der Kugel, gab ihm aber noch zur Sicherheit zwei Schrotschüsse. Mit riesigem Jubel wurde der Prachtkerl an Bord gebracht und bewundert. Es dauerte noch keine Stunde, da hatte ich bereits den zweiten, auf den ich ein wahres Schnellfeuer eröffnete und der sich mit größter Seelenruhe totschießen ließ. Der Generalinspektor für das gesamte Jagdwesen im dortigen Bezirke hatte mir in hochherziger Weise den sonst streng verbotenen Abschuß von zwei Schuhschnäbeln bewilligt." Der merkwürdige Vogel, schon von SCHWEINFURTH eingehend geschildert, ist durch BENGT BERGS Aufnahmen jedermann bekannt geworden. Übrigens ist KOENIG auch die Förderung dieses Mannes zu verdanken, von dessen „weltberühmten Veröffentlichungen" KOENIG sagte, daß sie sich wie unvergängliche Pyramiden aus dem Wüstensande hervorhöben.

Das wissenschaftliche Ergebnis der nordafrikanischen Reisen war eine groß angelegte „Avifauna Aegyptiaca" (1905—1936), in mehreren Jahrgängen des Journal für Ornithologie erschienen und mit 2 Prachtbänden in Quart, „Die Vögel am Nil von seiner Mündung bis in das Gebiet seiner Quellflüsse", im Selbstverlage beendet. Das wissenschaftlich auf der Höhe stehende Werk muß jeden Naturfreund begeistern, schon wegen der von bester Künstlerhand ausgeführten Farbentafeln, dann aber auch wegen der anschaulichen Schilderung der Umstände, unter denen der betreffende Vogel erbeutet wurde, seiner Umwelt und seiner Lebensweise. Fast noch bewundernswerter hinsichtlich der Summe von Fleiß und Ausdauer, die in der Arbeit steckt, ist das große, vierbändige Werk in Quart: Katalog der nido-oologischen Sammlung im Museum Alexander Koenig", das 25 Jahre beanspruchte und 1931 erschien. KOENIG selbst hat dieses Werk für die beste seiner Arbeiten gehalten.

Es ist selbstverständlich, daß die Expedition Koenig im Nilgebiet nicht nur Vögel, sondern alle Tiere sammelte, die ihr begegneten. Und ein so leidenschaftlicher Jäger, wie der Leiter der Reisegesellschaft, benutzte natürlich jede Gelegenheit, um auf Großwild zu pürschen. So wurde auch eine reiche Beute von Säugetieren heimgebracht. „Wir haben die Jagd auf Weißohrböcke (Cobus leucotis), eine schöne in der Wasserlandschaft lebende Antilope, mit Leidenschaft ausgeübt, so daß ich eine herrliche Gruppe von über 25 Stück in allen Altersstadien und Färbungsstufen vollendet montiert in meinem Museum habe." „Denn", so sagt KOENIG in seiner Lebensschilderung, „ich führte alle Jagdreisen nur in dem Sinne aus, meinem Museum die geschossenen und errungenen Objekte zuzuführen." Mit diesem Museum hat KOENIG seinem geliebten Vaterland ein Geschenk von nicht abzuschätzendem Wert gemacht. Nachdem die Sammlungen zuerst in einem Anbau an das der väterlichen Villa gegenüberliegende Wohnhaus untergebracht waren, wurde 1912 der Grundstein zu dem daneben zu erstellenden Neubau gelegt, und so erhob sich alsbald ein monumentaler Bau in edelster Renaissance an der Koblenzer Straße in Bonn. Aber es kam der Weltkrieg, KOENIGS Assistent, Dr. OTTO LE ROI, fiel, sein hervorragender erster Präparator starb an der Grippe, der zweite folgte ihm, und auch den vortrefflichen Museumsdiener raffte der Tod hinweg. KOENIG war allein geblieben. Und nicht genug mit diesen Schlägen! Die materiellen Mittel begannen zu schwinden; die riesigen Güter in Südrußland, welche eine fürstliche Jahreseinnahme gewährleisteten, wurden von der bolschewistischen Regierung eingezogen, und das Gebäude in Bonn wurde von der französischen Besatzung nach Kriegsende 7 Jahre lang als Kaserne benutzt; man kann sich denken, wie die herrlichen Räume und schon das prachtvolle Treppenhaus zugerichtet wurden, hausten doch auch schwarze Kolonialtruppen, 1000 Mann stark, daselbst. Endlich gingen auch die in Deutschland angelegten Mittel zum großen Teil durch die Inflation verloren.

Aber es spricht für KOENIGS Beharrungskraft, daß er alle diese Schläge ungebeugt überstand. Er bot nunmehr sein Museum dem preußischen Staat an, und dieser nahm 1929 die großartige Schenkung entgegen. Nachdem dann das Reich den Bau mit seinen Schätzen übernommen hatte, konnte das „Museum Alexander Koenig" am 13. Mai 1934 vor zahlreichen geladenen Gästen eröffnet werden. Nach der feierlichen Sitzung im lichtvollen Hörsaal wurden die Räume besichtigt. Was gab es da alles zu sehen! Einen mächtigen Gorilla, ein Okapi, die Wandertaube, den Riesenalk mit seinem Skelett und Ei, zwei prächtige Moschusochsen und neben diesen aussterbenden oder bereits ausgestorbenen Tieren die ganze Fülle der wesentlichsten Arten der Säugetiere und Vögel, aber auch der anderen Klassen, dazu die einzigartige Eiersammlung mit Eiern des Madagaskarstraußes, von

Paradiesvögeln und anderen Seltenheiten. Das Besondere der Sammlung liegt darin, daß alle Stücke von Künstlerhand präpariert und peinlich dem Leben nachgebildet sind; das gilt natürlich erst recht von Zusammenstellungen, die einen Ausschnitt aus dem Leben der Tiere in ihrer Umwelt bringen sollen. Diese Dioramen sind zudem eine Erinnerung persönlichen Schauens, und so fesseln am meisten die aus KOENIGS Forschungsgebieten in Afrika und der Polarlandschaft. Man wird sich aber auch nur schwer von dem Saal der Seevögel trennen können, wo sich die feine Hand BENGT BERGS bemerkbar gemacht hat, von dem KOENIG sagt, daß er ihm in dankbarer Ergebenheit so verbunden geblieben sei, daß er das Museum mit den größten Schätzen von seinen Weltreisen geradezu überschüttet habe. Bei der Ausstellung der See- und Strandvögel sieht man nicht nur das Pärchen und seine Eier, sondern auch das Stück des Bodens, auf dem das Gelege stand, ist mitgenommen worden. Das Jägerherz aber wird sich an den prachtvollen Hirschen vom Gute Blücherhof freuen, denen der Präparator sein bestes Können gewidmet hat. Eine solche Gruppe von wahren Staatshirschen wird man woanders nicht zu sehen bekommen.

Dieses mecklenburgische Gut KOENIGS ist ein Mustergut mit sehenswerten Stallungen und Scheunen und einem Park, in dem alle Nadelhölzer der Erde vertreten sind, die das Klima vertragen. Aus dem Badehaus eines einsamen Sees kann man an eine waldbegrenzte Schilflandschaft heranschwimmen und dabei Tauchervögel und Enten aus der Nähe beobachten. Das Großartigste aber ist das Wildgehege, das allein schon die Größe eines Gutes hat und außer dem herrlichen deutschen Wild auch das mandschurische Dybowskiwild und Mufflons beherbergt.

Auch dem Raubwild hat KOENIG hier den ihm zukommenden Platz gegönnt, denn „mehr oder weniger", so sagt er selbst, „hat jedes Tier einen Anspruch auf eine gewisse Wertschätzung und Hochachtung". Doch hatte er mit dem Natur- und Vogelschutz keine engere Fühlung, er war der Ansicht, daß nicht das Schießen der Vögel noch das Einsammeln der Eier an der sich steigernden Abnahme der Vögel schuld sei, sondern einzig und allein die fortschreitende Kultivierung der Länder und die Zunahme der Menschen, für die zur Zeit keine Abzugsmöglichkeiten in andere Länder vorhanden seien. Als ich ihm einmal erzählte, daß ich meine Vogelstudien in Brasilien und auf Ceylon nur mit dem Fernglase, dem Zeichenstift und der Flöte, die mir die Höhe der Töne der neu aufzunehmenden Gesänge bezeichnete, gemacht hätte, meinte er, das käme für ihn nicht in Betracht, er müsse den Vogel an sich heranbringen, und dazu brauche er das Gewehr. Das Sammeln zur Vervollständigung der Bestände seines Museums war ihm erstes Gebot, und er hielt seine Arbeit hoch als Dienst am Vaterlande, waren ihm doch die Museen Gradmesser für den geistigen Hochstand eines Volkes. Und schließlich, auch der Naturschützer bedarf der Museen. „Lernt die Vögel erst kennen, ehe ihr sie schützen wollt", sagte schon Altmeister LIEBE. Mit den Vögeln aber und auch den anderen Tieren, die uns in Wald und Flur begegnen, vertraut zu werden und ihr Wesen bewundern und lieben zu lernen, dazu ist bei der vorzüglichen Herrichtung, die den Zauber des Lebens auch im toten Balg zu erhalten sucht, kein Ort geeigneter, als das Museum Alexander Koenig in Bonn.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Abhängigkeit der Ultraschallbeugungsfiguren bei Gläsern von der Prismenform.

Bei der optischen Durchstrahlung von Glaswürfeln, die mittels eines Piezoquarzes zu elastischen Schwingungen erregt werden, erhält man nach SCHÄFER und BERGMANN Beugungskreise, die mit diskreten Beugungspunkten besetzt sind. Die Lage dieser Punkte hängt nun, wie sich bei definierter Einstrahlung der Ultraschallenergie zeigen läßt, von der Form des schwingenden Körpers ab und läßt sich leicht berechnen.

Die Fig. 1a bis 1c zeigen in der obersten Reihe die verwendeten Glaskörperformen und in der dritten die mit ihnen erhaltenen Beugungsbilder. Wegen der beträchtlichen Länge der Versuchskörper tritt durchweg Mehrfachbeugung auf. Die schematischen Bilder der mittleren Reihe gelten für Einfachbeugung. Zur Erregung wurde ein in der 7. Oberwelle ($\nu = 7600$ kH) schwingender, praktisch rein senkrecht zur Basis abstrahlender Straubelquarz verwendet.

Trifft eine Longitudinalwelle im Innern eines Körpers auf eine Grenzfläche, so befolgen die Einfallswinkel der Longitudinalwelle (β) und der entstehenden Transversalwelle (δ) das SNELLIUSsche Gesetz:

$$\frac{\sin\beta}{\sin\delta} = \frac{v_l}{v_{tr}}.$$

Bei einem rein senkrecht zur Oberfläche erregten Würfel erhält man nur eine Longitudinalwelle in der Erregungsrichtung, da die Intensität der Transversalwelle hier gleich Null ist. Bei geeigneter Verstimmung des Quarzes, die einer nicht rein senkrechten Abstrahlung entspricht, bekommt man jedoch Aufnahmen vom Typ der Fig. 1a. Außer den longitudinalen Beugungspunkten treten hier in bestimmten Richtungen Interferenzpunkte auf, die von Transversalwellen herrühren, die bei streifendem Eintritt der Longitudinalwelle ($\beta = 90$) auf die Seitenflächen unter dem Winkel δ entstehen ($\sin\delta = v_{tr}/v_l$). Der senkrechte Abstand der Transversalpunkte entspricht genau dem Abstand der longitudinalen Beugungspunkte, wie es sich für streifenden Eintritt auch theoretisch ergibt.

Bei dem Dreikantprisma der Fig. 1b, dessen Basiswinkel genau gleich waren und 50° betrugen, zeigen sich sehr schön die primären und sekundären Reflexionen. An den Dachflächen werden je eine Longitudinal- (50°) und eine Transversalwelle (26°) erzeugt, die beide an den gegenüberliegenden Dachflächen nochmals reflektiert werden. In dem Beugungsschema der Fig. 1b sind die diesen Richtungen entsprechenden Punkte eingetragen. Alle übrigen Punkte der Aufnahme, die gegenüber den beiden anderen etwa 2fach vergrößert ist, sind durch Überlagerung dieser Grundfigur entstanden. Es sind also sekundäre Aufspaltungen der Wellen in longitudinale und transversale Komponenten nicht zu beobachten.

Durch geeignete Wahl der Basiswinkel kann man nun erreichen, daß die Transversalwellen um 90° gegenüber der einfallenden Longitudinalwelle abgelenkt werden, so daß also die an den beiden Dachflächen entstehenden Transversalwellen sich verstärken. Dies ist der Fall, wenn die Basiswinkel $\gamma_1 = \gamma_2 = \operatorname{arc\,ctg}(v_{tr}/v_l)$ betragen (also im allgemeinen etwa 60°). Bei dem Prisma (FK 6) der Fig. 1c betrugen diese Winkel 60° 15′. Es ergibt sich hier eine Art Kreuzgitter mit einem Abstand Φ_l in der senkrechten und einem Abstand Φ_{tr} in der waagerechten Richtung.

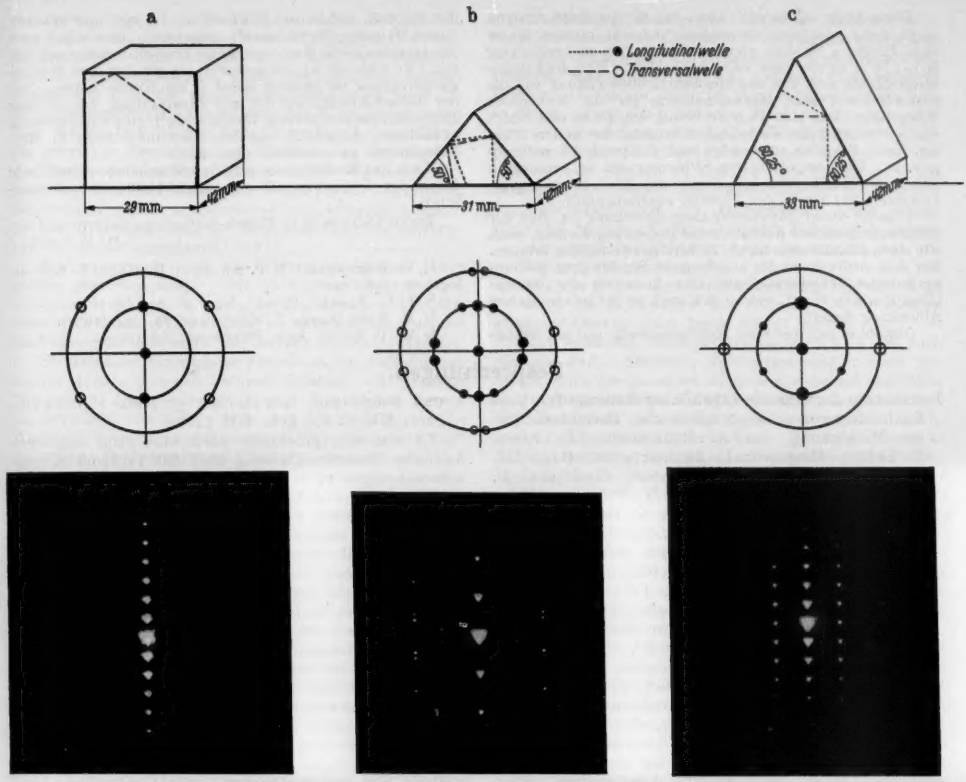

Fig. 1. Ultraschallbeugungsfiguren bei verschiedenen Prismenformen

$$\left(\text{FK 6},\ \frac{v_{tr}}{v_l} = 0{,}572\right).$$

Berechnete und gefundene Winkel der longitudinalen (φ) und transversalen (ψ) Beugungsrichtungen gegenüber der primär einfallenden Longitudinalwelle:

Fig. 1a. $\varphi = 0$, $\psi = \pm 55°$.
Fig. 1b. $\varphi = 0;\ \pm 100°;\ \pm 160°$, $\psi = \pm 76°;\ \pm 4°$.
Fig. 1c. $\varphi = 0;\ \pm 120°\,30'$. $\psi = \pm 90°$.

Die Intensität der Transversalbeugungspunkte ist hier fast so stark wie die der Beugungspunkte an der *einfallenden* Longitudinalwelle. Es tritt daher sogar die zweite Ordnung des Transversalabstandes auf, was bei gewöhnlicher Anregung nie zu erreichen ist. Theoretisch ergibt sich aus den Amplitudengleichungen[1]) für einen Einfallswinkel von etwa 60° eine nahezu 100proz. Umwandlung der Energie der primären Longitudinalwelle in die der Transversalwelle (damit erklärt sich die im Verhältnis zu den Transversalpunkten sehr geringe Helligkeit der unter $\pm 120°$ liegenden longitudinalen Beugungspunkte, die von der reflektierten longitudinalen Komponente herrühren).

Bei dieser Prismenform haben wir also ein Optimum für die Anregung der Transversalwellen und damit für das Intensitätsverhältnis der transversalen zu den longitudinalen Beugungspunkten, das jetzt nur noch von dem Verhältnis der spannungsoptischen Koeffizienten abhängt. Das Auftreten höherer Beugungsordnungen mit bestimmten Beugungsrichtungen bewirkt eine erhebliche Steigerung der Genauigkeit und eine Erleichterung in der Auswertung der Beugungsaufnahmen. Man benötigt hierzu — wie häufig bei Präzisionsmethoden — eine ungefähre Kenntnis der einen Konstanten (v_l/v_{tr} ist aus der Querkontraktionszahl zu ermitteln) zur Berechnung der Basiswinkel des Dreikantprismas.

Jena, Glaswerk Schott u. Gen., den 30. August 1940.

HELMUT RÖTGER.

[1]) F. LEVI u. N. S. N. NATH, Helvet. phys. Acta 11, 416 (Gl. 19) (1938).

Interferenz-Doppelbrechung von Röntgenstrahlen in Kristallprismen.

Nach der dynamischen Theorie der Röntgenstrahlinterferenzen entstehen bei Beugung an einer planparallelen Kristallplatte, sofern der abgebeugte Strahl gleich dem durchgehenden auf der Rückseite austritt, im Innern der Platte 2 Wellenfelder, jedes mit 2 der Größenordnung nach gleich starken, ebenen Wellen, im ganzen also 4 ebene Wellen. Und zwar gilt diese Aussage für jeden der beiden bevorzugten Polarisationszustände, ob nun die elektrische oder die magnetische Schwingung senkrecht zu den Strahlen erfolgt. Nur vereinigt die Brechung beim Austritt je 2 dieser Wellen, und zwar genau, so daß man hinter der Platte nur 2 austretende Strahlen findet. Diese beiden Wellenfelder sind (von den Differentialgleichungen des Feldes abgesehen) ausschließlich durch die Grenzbedingungen für die Vorderfläche bestimmt und miteinander verknüpft; die Rückfläche übt keinen Einfluß darauf aus. Jene 4 Wellen bleiben deshalb nach Richtung und Stärke unverändert, wenn man durch Drehung der Rückfläche aus der Platte ein Prisma macht.

Diese Änderung bewirkt aber, daß sie sich beim Austritt nicht mehr paarweise vereinigen; vielmehr müssen hinter dem Prisma 4 Strahlen gleicher Polarisation zu beobachten sein. Je 2 davon sind nahe benachbart; ihre Richtungsunterschiede sind von der gleichen Größenordnung wie die DARWIN-EWALDsche Reflexionsbreite für die BRAGGsche Spiegelung. Das eine Paar ist wenig abgelenkt und bildet die Fortsetzung des einfallenden Strahls, das andere Paar ist durch Beugung entstanden und entsprechend weit abgelenkt. Fällt unpolarisierte Strahlung ein, so verdoppeln sich diese Zahlen, weil kein Strahl des einen Schwingungszustandes mit einem des anderen zusammenfällt.

Ursache dieser Interferenz-Doppelbrechung ist, daß der Brechungsindex des Kristalls seine Bedeutung verliert, wenn wir einen einfallenden Strahl in Interferenzstellung bringen. Mit dem Auftauchen des abgebeugten Strahls geht (bei unveränderter Schwingungszahl) eine Änderung der Wellenlänge Hand in Hand, welche sich auch in der prismatischen Ablenkung äußert.

Obwohl es sich bei jener Reflexionsbreite nur um Sekunden handelt, haben sie EHRENBERG, EWALD und MARK[1]), PARRAT[2]) sowie RENNINGER[3]) gemessen. Also sollte auch der experimentelle Nachweis dieser Doppelbrechung möglich sein. Er wäre um so interessanter, als wir von dem Schwingungsvorgang im Inneren sonst keine Kunde haben. Nur der Kossel-Effekt, als die zur Einstrahlung gemäß dem Reziprozitätssatze inverse Erscheinung[4]), gibt darüber einen mittelbaren Aufschluß, den wir aber noch nicht in allen Einzelheiten zu entziffern vermögen.

Über das Rechnerische gibt das demnächst erscheinende Buch des Verfassers „Röntgenstrahl-Interferenzen" Auskunft.

Berlin-Dahlem, Max Planck-Institut, im September 1940.
M. v. LAUE.

[1]) W. EHRENBERG, P. P. EWALD u. H. MARK, Z. Kristallogr. **66**, 547 (1928).
[2]) L. G. PARRAT, Physic. Rev. **38**, 203 (1931).
[3]) M. RENNINGER, Z. Kristallogr. **89**, 344 (1934).
[4]) M. v. LAUE, Ann. Physik **23**, 705 (1935).

Besprechungen.

Fortschritte der Chemie organischer Naturstoffe. Eine Sammlung von zusammenfassenden Berichten. Unter Mitwirkung von A. BUTENANDT, F. KÖGL, E. SPÄTH. Hrsg. von L. ZECHMEISTER. Band III. Bearbeitet von R. J. ANDERSON, O. DIELS, F. G. FISCHER, L. PAULING u. W. SIEDEL. Wien: Julius Springer 1939. VI, 252 S. mit 10 Abbild. 15 cm × 23 cm. Preis RM 19.60.

Der 3. Band der „Fortschritte der Chemie organischer Naturstoffe" umfaßt Beiträge von O. DIELS F. G. FISCHER, W. SIEDEL, R. J. ANDERSON und L. PAULING. Im 1. Beitrag behandelt DIELS die „Bedeutung der Diensynthese für Bildung, Aufbau und Erforschung von Naturstoffen". In dieser Zusammenfassung wird so recht offenbar, wie stark die Diensynthese auch in das Gebiet der Naturstoffe übergreift. Zahlreich sind die Diensynthesen in der Reihe der Terpene und Campher, des Cantharadins, der Pyrrole und des Lupinans. Auch als Hilfsmittel zur Erforschung von Naturstoffen hat die Diensynthese wertvolle Dienste geleistet. In dem Beitrag „Biochemische Hydrierungen" von F. G. FISCHER werden die Äthylenhydrierung, sowohl durch Hefe und Bakterien als auch im Tierkörper, die Hydrierungen in der Reihe der Steroide und Fette, schließlich die Fermentsysteme biochemischer Hydrierungen behandelt. Der Beitrag „Gallenfarbstoffe" von SIEDEL umfaßt nicht nur die vierkernigen Verbindungen vom Typ des Bilirubins (Bilirubinoide), sondern alle durch die Galle ausgeschiedenen Abbauprodukte des Blutfarbstoffes. Der Schwerpunkt der Darstellung liegt hier auf chemisch-konstitutionellem Gebiet. In dem Beitrag von ANDERSON über „Die Chemie der Lipoide des Tuberkelbazillus und einiger anderer Mikroorganismen" ist von berufener Seite dieses leider bei uns etwas vernachlässigte Gebiet klar dargestellt. Von PAULING ist der Beitrag „Neuere Arbeiten über die Konfiguration und Elektronenstruktur der Moleküle, mit einigen Anwendungen auf Naturstoffe" geschrieben. Hier ist an zahlreichen Naturstoffen gezeigt, daß die neuen Vorstellungen gestatten, schon in vielen Fällen über den Bau und die Reaktionsfähigkeit Auskunft zu geben. Sämtliche Beiträge, die alle von berufenen Fachleuten geschrieben sind, vermitteln ein klares Bild vom jeweiligen Stand der betr. Disziplinen. Somit reiht sich auch der 3. Band würdig den beiden vorangegangenen an.

H. BREDERECK.

WAGNER, A., **Klimaänderungen und Klimaschwankungen** (Die Wissenschaft, Bd. 92. Herausgeb. Prof. Dr. W. WESTPHAL). Braunschweig: Fr. Vieweg und Sohn 1940. 212 S. mit 35 Abb. 14 × 22 cm. Preis RM 12.80; geb. RM 14.60.

Es war eine glückliche Idee, eine groß angelegte kritische Zusammenfassung über das Problem Klimaschwankungen zu schreiben, die vor allem nicht nur eine bestimmte naturwissenschaftliche Disziplin oder gar eine bestimmte Theorie in den Vordergrund schiebt, sondern vom allgemeinen naturwissenschaftlichen Gesichtspunkt aus diese Fragen behandelt. Gewiß keine leichte Aufgabe! Besonders deshalb, weil das Beobachtungsmaterial früherer Zeiten mager und vieldeutig ist. Es ist dem Verfasser jedoch mit großem Geschick gelungen, dem Leser einen Einblick in die Zusammenhänge der Klimaänderungen zu geben, insbesondere ihn auch auf Bedenken und Mängel einzelner Untersuchungsmethoden und Theorien sowie auf Widersprüche hinzuweisen. Die zahlreichen Literaturangaben des Gesamtgebietes werden dem willkommen sein, der weitere Einzelheiten sucht.

Natürlicherweise bleibt die meteorologische Fragestellung und Behandlungsweise im Vordergrund, die Ergebnisse der Geologie, Biologie, Zoologie und Geographie sind nur das Mosaik, was schon die Problemstellung, die ja rein meteorologisch ist, erfordert. Der Aufbau des Buches ist recht geschickt, da der Leser von der Gegenwart aus, für die das Material leicht zu beschaffen ist und die jeder miterlebt, langsam bis zu den Eiszeiten, wo das Material spärlich und den Theorien weiter Spielraum gelassen ist, zurückgeführt wird. Das Buch, von vielen Tabellen und Abbildungen durchsetzt, wird gern gelesen werden.

Aus der Fülle des Materials sei einiges herausgegriffen, denn die Ergebnisse sind von allgemeinem Interesse.

Zunächst zeigt der Verfasser, daß der Begriff Klima etwas Veränderliches ist. Das Klima schwankt. *Klima ist eine Zeitfunktion!* Von hoher Warte aus gesehen gibt es keine einsinnige Änderung des Klimas, im Laufe von Jahrtausenden schließt sich der Zyklus, um erneut zu beginnen. Denn es gab Zeiten auf der Erde, wo es wärmer als heute war.

Der Begriff des *klimatologischen Mittelwertes*, so hebt WAGNER mit vollem Recht hervor, ist ein *relativer Begriff*. Falls sich langjährige Schwankungen eines Elementes nachweisen lassen, deren Ausmaß den wahrscheinlichen Fehler des Mittels erheblich übersteigt, dann hat der Mittelwert an sich keine Berechtigung mehr, sondern nur der auf eine bestimmte Epoche bezogene. Das sollte man doch auch für klimatologische Bearbeitungen beherzigen! Ein kurzer synchroner Zeitraum ist besser — etwa der vorgeschlagene

von 1900—1930 — als ein Mittelwert von 100 Jahren, mit dem man doch keine Vergleiche anstellen kann, da sein Wert eben nur in dieser Epoche Gültigkeit besitzt. Besitzen wir aber solch eine synchrone Klimadarstellung über die ganze Erde, dann wird man aus den gesetzmäßigen Verteilungen der Klimaänderungen über die ganze Erde von Epoche zu Epoche viel klarer als jetzt die Dynamik des Klimas, das Ineinandergreifen der verschiedenen Ursachen, wie allgemeine Zirkulation, Meeresströmungen, orographische Einflüsse, Änderung der Ein- und Ausstrahlung, erfassen können.

Zur *Klimaänderung der Gegenwart* liegt ein umfangreiches Tatsachenmaterial vor.

Wir wissen alle, daß die Winter der letzten Jahre milder geworden sind — wir dürfen nur nicht an den allerletzten denken, sondern an die mittleren Verhältnisse der letzten Jahre. Das ist einwandfrei erwiesen und erstreckt sich nicht nur auf ein begrenztes Gebiet.

So steigt die Temperatur überall an, am auffälligsten in der Arktis, was ein Beispiel aufzeigt. Die Wintertemperatur (November-März) von Spitzbergen betrug im Zeitraum von 1911—1915 —17,6°, von 1931—1935 dagegen —8,6°. Das Dezemberklima entspricht dort fast den Temperaturverhältnissen, wie sie im vergangenen Jahrhundert in Berlin herrschten! Die Eisbedeckung im nördlichen Eismeer hat sich im Laufe der letzten 50 Jahre um etwa 3 Breitengrade nach Norden verlagert. Darauf beruht auch letzten Endes der große Erfolg der neuen russischen Polarexpeditionen und allein die Klimaänderung ermöglicht die Benützung der Nordostpassage. Das Meerwasser hoher Breiten hat sich erwärmt; während die Deckschicht kalten Wassers zu Nansens Zeiten bei Spitzbergen 200 m betrug, ist sie jetzt auf 100 m zurückgegangen. Auch das Golfstromwasser ist entschieden wärmer geworden, wie Messungen an der amerikanischen Küste beweisen. Wenn wir den Fischreichtum untersuchen, so ergeben sich auch Verschiebungen, die sich z. B. in Grönland auswirken, wo an der Westküste der Dorschfang von $0{,}83 \cdot 10^6$ kg im Jahre 1924 auf $8{,}16 \cdot 10^6$ kg im Jahre 1930 angestiegen ist. Gleiches wird von der Ostküste Asiens gemeldet. Allen bekannt ist der Gletscherrückgang der letzten Jahre, der sowohl in den Alpen als auch z. B. in Spitzbergen und Asien vermessen wird. Da die Fließgeschwindigkeit des Eises temperaturabhängig ist, so liegt es wohl im wesentlichen an der Zunahme der mittleren Jahrestemperatur, und das besagt wiederum: die allgemeine Zirkulation hat sich verstärkt. Es ließe sich aus dem schier unerschöpflichen Material noch vieles bringen, doch sei auf das Buch verwiesen.

Gehen wir nun weiter ins 19. Jahrhundert zurück, so fehlen exakte meteorologische Messungen, aber eine gründliche Beobachtung anderer Naturerscheinungen zeigt die wesentlichsten, groben Klimaänderungen an. Die Gletscherstände sind regelmäßig beobachtet worden und in den Jahren 1810—1820 und 1850—1860 rückten sie besonders weit vor, in Island ist ein plötzlicher Vorstoß um 1840 bekannt, der vermutlich dem Gletscherhochstand in den Alpen nach 1850 entspricht. Dieses Material der Gletscher- und Klimaschwankungen wird sehr ausführlich behandelt, eine ähnliche Zusammenfassung gibt es gar nicht.

Das umfangreiche Material beweist eindeutig die Klimaänderung sowohl durch die Änderung der meteorologischen Mittelwerte, als durch die obengenannten Naturerscheinungen. Der Leser fragt sich nun, was ist die Ursache dafür? Es ist das Verdienst WAGNERS, den gemeinsamen Nenner für diese Änderung zu finden und in aller Schärfe herauszuarbeiten: die *allgemeine Zirkulation*. Darunter verstehen wir die mittlere Luftdruckverteilung über einen längeren Zeitabschnitt. Einer Erhöhung der allgemeinen Zirkulation entspricht eine Verstärkung des Luftdruckgefälles, und damit ein größerer Wärmetransport von niederen nach höheren Breiten. Da sie vor allem im Winter zugenommen hat, so führt es zu einer höheren Wintertemperatur und einer Abschwächung der Jahresschwankung der Temperatur. Unser Klima ist maritimer geworden, der kontinentale Einfluß ist stärker zurückgedrängt. Aus dem gleichen Grund vergrößert sich in den Tropen die Jahresamplitude der Temperatur. Doch wissen wir nicht, warum sich die allgemeine Zirkulation ändert, — mit dieser betrüblichen Tatsache müssen wir uns vorläufig noch abfinden.

Aus der Dicke der Jahresringe von Bäumen folgt ebenfalls ein Schwanken des Klimas. Damit können etwa die letzten 1000 Jahre belegt werden.

Nun geht der Verfasser weiter zurück in die *postglaziale Zeit*. Absolute Zeitbestimmungen sind unmöglich, da die einzelnen Zeugen wie die schwedischen Warwen (gebänderte Tonablagerungen), Endmoränen, Grenzhorizonte und Pollen nicht aufeinander beziehbare Zeitbestimmung erlauben. Besonders zurückhaltend äußert er sich zu den Ergebnissen der Pollenanalyse, deren Bedeutung wohl zeitweise überschätzt wurde. Einhelligkeit herrscht hinsichtlich des Ergebnisses, daß sowohl zur Haselzeit, als zur Zeit des Eichenmischwaldes ein günstigeres Klima als gegenwärtig herrschte. Spitzbergen muß als ein Relikt des Klimaoptimums dieser Epoche angesehen werden, da die Tatsachen für ein weltweites Auftreten der Wärmezeiten sprechen, und nicht für eine Erscheinung im Sinne der Polwanderungstheorie.

Wieviel Theorien über die *Eiszeiten* sind schon verfaßt worden! Auch diesen Abschnitt behandelt der Verfasser mit Sorgfalt und Kritik. Was ist die Ursache der Abkühlung der Erde nach dem Tertiär, warum treten die Zwischeneiszeiten auf? Wir wissen es nicht. Von all den vielen Theorien werden mit vollem Recht nur die wenigen gebracht, die auf einer astronomisch oder geophysikalisch begründeten Annahme fußen. Das sind die Theorien von SPITALER-MILANKOVITSCH-KÖPPEN, die von der Schwankung der Bahnelemente der Erde ausgehen. Doch weichen die Strahlungskurven von MILANKOVITSCH und SPITALER so weit voneinander ab, daß kaum eine Ähnlichkeit besteht. SIMPSONS Theorie — die in der deutschen Literatur kaum beachtet wurde — findet die gebührende Anerkennung. Verfasser selbst gibt uns eine *neue Theorie*, die auf der *Wärmeerzeugung durch radioaktiven Zerfall* beruht. Der Wärmestrom ist nicht kontinuierlich, sondern es gibt Zeiten der Wärmeaufspeicherung, die zu einer teilweisen Aufschmelzung, wenigstens aber zu einer Erhöhung der Plastizität der Erdkruste führen müssen. Die Folgen sind gewaltige Änderungen der Erdoberfläche (Auffaltungen usw.). Dadurch wird der Wärmevorrat rasch an die Erdoberfläche abgegeben. Die Erdkruste verfestigt sich und das Spiel beginnt von neuem. Das ist in kurzen Worten die Theorie WAGNERS. Sie steht und fällt mit den Zahlenangaben über die Radioaktivität der Erde. Restlos zu befriedigen vermag noch keine der vorgebrachten Theorien.

Den Abschluß bildet ein lesenswerter Abschnitt über Klimaperioden. In diesem setzt der Verfasser die Rechenmethoden auseinander und kommt zum Ergebnis: es gibt keine Periode größer als 1 Jahr, so daß sich der zukünftige Einzelwert mit merklicher Genauigkeit voraussagen ließe.

Eine *11jährige Temperaturperiode* ist erwiesen, aber alle anderen sind nur in gewissen Zeitabschnitten vorhanden, die 3jährige und die 16jährige; plötzlich setzen die

Perioden wieder aus. Die thermodynamische Maschine der Atmosphäre schaltet einen anderen Gang ein, ohne daß wir die Gründe kennen. Eine gänzliche Ablehnung erfährt die bekannte und viel zitierte *Brücknersche 35jährige Periode*. Eindeutiges Material zeigt, daß diese Periode gar nicht existiert. Außer für die 11jährige Periode, die zu dem Sonnenfleckenzyklus paßt, läßt sich eine physikalische Ursache für die anderen periodischen Erscheinungen schwer glaubhaft machen.

Aus diesen Zeilen möge der Wert des Buches hervorgehen. Es wird von allen an diesen Problemen interessierten mit großer Freude begrüßt werden.

R. PENNDORF (Leipzig).

PFEIFFER, H. H., **Experimentelle Cytologie.** (A new series of plant science books, edited by Frans Verdoorn. Volume IV.) Leiden: Chronica Botanica Co. 1940. Preis Gld. 7.—. Berlin: Friedländer u. Sohn 1940. XII, 243 S. und 28 Abbild. 16 cm × 24 cm. Preis RM 10.—.

In den New Series of Plant Science Books, die von F. VERDOORN herausgegeben werden, erschien als 4. Band eine experimentelle Cytologie von H. PFEIFFER, Bremen. Hierin wird — der Buchreihe entsprechend — im wesentlichen die botanische Literatur berücksichtigt und auf die Versuche an zoologischen Objekten gelegentlich verwiesen. Das Werk ist in 20 Abschnitte gegliedert. Diese behandeln u. a. „Grenzen und Aufgaben einer experimentellen Cytologie", die Versuchsobjekte, Form und Größe der Zelle und ihrer Bestandteile, die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Plasmas, Probleme der Permeabilität, die Methoden der Vitalfärbung und der elektrophysiologischen Versuche, die Untersuchungen über „Restitution, Altern und Nekrose", Mikrurgische Experimente an der Pflanzenzelle. Im letzten Abschnitt werden „Rück- und Ausblicke zu Stand und Entwicklung der experimentellen Cytologie" gegeben. Im Anhang werden wichtige Zeitschriften zur experimentellen Cytologie angeführt sowie eine kurze Chronologie der dem Verf. besonders hervorhebenswert erscheinenden Entdeckungen auf dem Gebiete der experimentellen Zellforschung gebracht.

Es ist selbstverständlich, daß ein derartig umfangreiches Material bei einer Darstellung in dem Umfange von 218 Seiten nach verschiedenen Richtungen hin beschränkt werden mußte. Verf. erreicht dies im wesentlichen durch eine außerordentlich summarische Behandlung der vorliegenden Literatur. In der Regel werden lediglich Hinweise und Andeutungen gegeben. An manchen Stellen steht Ungesichertes scheinbar gleichberechtigt neben Gesichertem, Unwesentliches neben Wesentlichem. Es ist daher im Rahmen einer kurzen Besprechung unmöglich, dem besonderen Gehalt der PFEIFFERschen Experimentellen Cytologie gerecht zu werden. Im allgemeinen ist festzustellen, daß die physikalischen Erscheinungen stark hervorgehoben werden. Dies bedingt im Zusammenhang mit der stilistisch oft recht komplizierten oder auch wohl verklausulierten Darstellungsweise eine relativ geringe Anschaulichkeit. In gewisser Weise kommt dieser Mangel auch darin zum Ausdruck, daß von insgesamt 28 Abbildungen keine einzige eine — Zelle wiedergibt. Etwas mehr Morphologie wäre nach Ansicht des Ref. auch in einer Darstellung der experimentellen Zellforschung angebracht gewesen, zumal deren modernere Entwicklung immer mehr zu einer Verbindung beider Forschungsrichtungen führt. Trotz dieser Einschränkungen müssen der Bienenfleiß und die tiefen Bemühungen, die in dem Buch ihren Ausdruck finden, rückhaltlos anerkannt werden.

ERICH RIES.

HUECK, KURT, **Botanische Wanderungen im Riesengebirge.** (Pflanzensoziologie. Eine Reihe vegetationskundlicher Gebietsmonographien. Herausgegeben von der Reichsstelle für Naturschutz.) Band 3. Jena: Gustav Fischer 1939. VIII, 116 S., 51 Abbild. und 1 farb. Karte. 17 cm × 25 cm. Preis brosch. RM 14.—, geb. RM 15.50.

BARTSCH, J. und M., **Vegetationskunde des Schwarzwaldes.** (Eine Reihe vegetationskundlicher Gebietsmonographien. Herausgegeben von der Reichsstelle für Naturschutz.) Band 4. Jena: Gustav Fischer 1940. X, 229 S., 65 Abbild. und 2 Karten. 17 cm × 25 cm. Preis brosch. RM 12.—, geb. RM 13.50.

Die beiden Hefte der von der Reichsstelle für Naturschutz herausgegebenen Reihe behandeln zwei der größten und schönsten unserer deutschen Mittelgebirge, von denen das Riesengebirge in seinen höchsten Teilen und Schluchten als einziges an alpine Formen heranreicht. Das prägt sich auch in ihrer Flora aus, die uns HUECK in ihren einzelnen Pflanzengesellschaften anschaulich schildert. Gerne begleiten wir ihn auf seinen Wanderungen, die uns aus dem durch menschliche Einwirkung an Stelle ehemaliger Buchenwälder geschaffenen Fichtenforst in die Knieholzzone und auf den Kamm mit seinen Borstengrasmatten, Zwergstrauchheiden und Hochmooren, zu den Moosen und Flechten der Schneekoppe und zu den Eiszeitrelikten in den steilwandigen Karen der Schneegruben führen. Eines bedauert der Kenner des Gebirges: daß die sonst ausgezeichnete 12farbige Karte an der längs des Kammes hinziehenden alten Reichsgrenze halt macht und auch die Schilderungen des Verf. sich fast ganz auf den altreichsdeutschen Hang des Gebirges beschränken. Hier ist eine natürliche Einheit künstlich zerschnitten, eine Trennung, die jedem, der das Gebiet aus der Zeit vor dem Weltkriege kennt, als unberechtigt erscheinen muß. Heute besteht sie nicht mehr; es ist aber schade, daß sie in HUECKS Buch noch so scharf zum Ausdruck kommt.

Ganz anderen Charakter trägt die Schilderung der Schwarzwaldflora durch J. und M. BARTSCH, die mit dem ganzen Rüstzeug moderner pflanzensoziologischer Forschung auftritt und nicht weniger als 61 Assoziationen, darunter eine ganze Reihe von Laubwaldtypen, unterscheidet, wobei noch auf eine „weitere Untergliederung der Assoziationen und Subassoziationen in niedere Vegetationseinheiten" Verzicht geleistet worden ist. Die Verff. folgen dabei ganz der BRAUN-BLANQUETschen Schule, die sich in Deutschland eindeutig durchgesetzt hat. Wieweit sie die an sie für die Praxis von Wald- und Pflanzenbau geknüpften Erwartungen erfüllen wird, muß sich noch erweisen. Diese Haupt-Pflanzengesellschaften werden in etwa 25 Abschnitten geschildert, wobei Nord- und Südschwarzwald in gleicher Weise Berücksichtigung finden. Immer wird dabei auf die natürlichen Gegebenheiten, ebenso aber auf die Einflüsse der menschlichen Kultur hingewiesen und neben den notwendigen Pflanzenlisten eine anschauliche Schilderung der floristischen und soziologischen Verhältnisse gegeben. Wer etwa OLTMANNS' schönes „Pflanzenleben des Schwarzwaldes" kennt, wird in dem Buche von BARTSCH eine wertvolle Ergänzung hierzu sehen. Sie bildet die Voraussetzung für die wissenschaftliche Begründung einer natürlichen, Zweckmäßigkeit mit Naturverbundenheit vereinigenden Pflanzenwirtschaft, deren Bedeutung für die künftige Wertung der Gebirgsböden unbestritten ist. Man kann nur wünschen, daß auch andere Teile unserer Gebirge in der gleichen Weise erfaßt werden möchten.

R. KRÄUSEL, Frankfurt a. M.

Neue Ergebnisse und Probleme auf dem Gebiet des Chromosomenbaues.

Ein Sammelreferat.

Von LOTHAR GEITLER, Wien.

1. Einleitung.

Seitdem die Chromosomen als die Träger der Gene erkannt worden sind, hat die Untersuchung ihres Baues eine wachsende Förderung erfahren. Ein Abschluß dieser Forschungsrichtung ist noch nicht abzusehen; doch scheint es nützlich, von Zeit zu Zeit einen Überblick über die gesicherten Ergebnisse und über den Stand der Bearbeitung noch ungelöster Probleme zu geben. Diesem Zweck sollen die folgenden Mitteilungen dienen; sie streben im Hinblick auf den beschränkten Raum natürlich keine Vollständigkeit in allen Einzelheiten an und beschränken sich auf die Behandlung des Chromosomenbaues im engeren Sinne[1]).

2. Allgemeine Übersicht.

Die Grundlage unserer Kenntnisse über den Chromosomenbau bildet die unmittelbare mikroskopisch-morphologische Beobachtung; ihre Möglichkeiten sind noch nicht in jeder Hinsicht ausgeschöpft, sie vermittelt aber bereits in sich geschlossene, abgerundete Ergebnisse. Darüber hinaus liegen die ersten tastenden Versuche vor, durch indirekte Methoden (Polarisationsoptik, Röntgenstrahlen) ein Bild vom submikroskopischen Feinbau zu gewinnen.

Überblickt man die Ergebnisse der mikroskopischen Forschungsrichtung, so läßt sich feststellen, daß die Kenntnisse der *äußeren Chromosomenmorphologie* im wesentlichen endgültig sind; dies gilt zum Teil auch für das Gebiet des *mikroskopischen* Feinbaues, doch nehmen naturgemäß die Schwierigkeiten allmählich und um so mehr zu, je mehr man sich dem submikroskopischen Gebiet nähert.

Die *äußere Morphologie* lehrt zunächst, daß jedes Chromosom, möge es nun dauernd zylindrisch oder vorübergehend kugelig erscheinen, grundsätzlich fadenförmige Organisation besitzt; dieser eindimensionale Bau geht letzten Endes auf den molekularen Aufbau (Kettenmoleküle) zurück, und ihm entspricht die schon längst aus dem Vererbungsexperiment erschlossene lineare Anordnung der Gene. Die Teilung ist daher notwendigerweise in allen Fällen eine Längsteilung; gegenteilige Angaben (Querteilung bei Protisten) lassen sich durch genaue Analyse widerlegen (vgl. z. B. HALL für *Euglena*).

In der Längsrichtung besitzt jedes Chromosom eine bestimmte Gliederung. Ihr zunächst auffallendster Ausdruck besteht darin, daß an einer bestimmten, meist als Einschnürung erscheinenden Stelle ein morphologisch und funktionell von den anderen Chromosomenabschnitten abweichender Körper liegt, das *Centromer* (bzw. Leitkörperchen, Kinetochor, Kommissur, Spindelansatzstelle, primäre Einschnürung). Mittels dieses Körpers erfolgt die Anheftung des Chromosoms bzw. seiner Spalthälften, der *Chromatiden*, an der Teilungsspindel, und er vermittelt sämtliche an die Spindel gebundenen gerichteten chromosomalen Bewegungen. Durch das Centromer wird das Chromosom in zwei Arme oder Schenkel gegliedert, deren Längenverhältnis konstant ist. Manche Chromosomen besitzen sehr ungleich lange Arme, und unter Umständen ist der eine Arm so kurz, daß er kaum erkennbar ist (Fig. 1). In solchen Fällen scheint, besonders bei geringer Chromosomengröße, das Centromer endständig zu sein; da sich bisher bei allen Chromosomen mit „endständigen" Centromeren durch eingehende Analyse ein zweiter Arm auffinden ließ, ist anzunehmen, daß es wirklich endständige Centromeren, also einarmige Chromosomen, überhaupt nicht gibt.

Die Centromeren hinken bei der Teilung gegenüber den Armen nach. Sie bewirken so den Zusammenhalt der Chromatiden bis zur beginnenden Anaphase; dies wird besonders auffallend in der II. meiotischen Teilung und an außerhalb der Spindel liegenden Univalenten, die zur Zeit der I. Anaphase ihre Chromatiden auseinanderspreizen, aber durch ihr Centromer zusammengehalten werden (GEITLER 1938 d); umgekehrt fallen centromerenlose Fragmente zu diesem Zeitpunkt in ihre Chromatiden auseinander (CARLSON[1]). Eine Steigerung des normalen Zusammenhalts der Centromeren fand WHITE nach Röntgenbestrahlung: es traten Diplochromosomen auf, d. h. Gebilde, die aus zwei an einem Spindelansatz zusammenhängenden Chromosomen bestanden (Fig. 1). Das Verhalten ist dadurch erklärbar, daß die anaphasische Chromatidenspaltung ablief, die Centromerenspaltung aber über einen Teilungszyklus hinaus unterdrückt wurde.

Fig. 1. Oben: Schema eines normalen Metaphasechromosoms einer Heuschrecke (punktiert der Spindelansatz, links der sehr kurze Arm); unten ein Diplochromosom. Nach WHITE.

Der feinere Bau des Centromers wurde von SCHRADER an Amphibien untersucht, wobei sich eine Differenzierung in einen größeren „Hof" und ein kleineres Körnchen, das die eigentliche Befestigung an der Spindel bewirkt, ergab.

UPCOTT und zuletzt DARLINGTON fanden in bestimmten Fällen Abweichungen von der normalen Teilungs*richtung* des Centromers, wodurch völlig abnorm gebaute Chromosomen entstehen; liegt z. B. die Teilungsebene senkrecht zur normalen, so entstehen zwei Tochterchromosomen, die statt zweier verschiedener Arme je zwei gleiche (Schwester-)arme besitzen.

Die Chromosomenarme selbst zeigen weiter allgemein eine bestimmte Differenzierung in der Längsrichtung. Sie bestehen in ihrer ganzen Länge aus kleinen und kleinsten, regelmäßig aneinandergereihten

[1]) Die Schilderung der phylogenetischen Veränderungen des Chromosomenbaues und damit zusammenhängender Tatsachen kann unterbleiben, da sie vor nicht zu langer Zeit an dieser Stelle erfolgte (GOTTSCHEWSKI). — Um eine zu große Überlastung mit Schriftenangaben zu vermeiden, wurden im allgemeinen nur die seit 1937 erschienenen Arbeiten einzeln angeführt; ältere sind in meiner zusammenfassenden Darstellung (1938) aufzufinden.

[1]) Daß eine geringfügige Auseinanderbewegung der Chromatiden auch ohne Vermittlung von Centromeren und Spindelmechanik erfolgen kann, zeigt die Colchicinwirkung (LEVAN) und die Endomitose der Wanzen (GEITLER 1939, 1940). Bemerkenswerterweise bleibt auch im Falle der Colchicinwirkung der Zusammenhalt der Chromatiden am längsten am Centromer aufrecht (LEVAN, SHIMAMURA).

Abschnitten; diese Gliederung wird nur unter bestimmten Umständen erkennbar und gehört zu den mikroskopischen Feinstrukturen (vgl. weiter unten). Eine gröbere, aber nicht jedem Chromosom eigentümliche Gliederung in der Längsrichtung ist der Besitz von bestimmt gelagerten *sekundären Einschnürungen* der Arme, die teils funktionslos erscheinen, teils die telophasische Kondensation der Nukleolarsubstanz zu Nukleolen bewirken[1]).

Die Arme mancher Chromosomen sind weiterhin dadurch grob gegliedert, daß bestimmte Abschnitte eine abweichende chromatische Beschaffenheit besitzen. Sie gibt sich äußerlich dadurch kund, daß diese „heterochromatischen" Abschnitte im Gegensatz zu den gewöhnlichen „euchromatischen" in der Telophase nicht oder wenig aufgelockert werden, also im wesentlichen in ihrer dichten mitotischen Ausbildung in den Ruhekern eingehen und in diesem Zustand als „Chromozentren" oder „Prochromosomen" erhalten bleiben. In den mittleren Mitosestadien ist kein Unterschied zwischen Eu- und Heterochromatin erkennbar. Manchmal sind ganze Chromosomen, so viele Geschlechtschromosomen, heterochromatisch (diese namentlich in der meiotischen Prophase oft auffallende Erscheinung ist früher als Heteropyknose beschrieben worden).

Bei *Paris polyphylla* sind unter Umständen die Enden bestimmter Arme dadurch ausgezeichnet, daß ihr Durchmesser kleiner als der des übrigen Chromosomenkörpers ist (DARLINGTON und LA COUR); dies beruht auf einer abweichenden Spiralisierung des Chromonemas an diesen Stellen (vgl. weiter unten). Das gleiche ist bei *Adoxa* der Fall, wo sich nachweisen läßt, daß es sich um eine temperaturbedingte Veränderung handelt [GEITLER, Chromosoma **2**, (1940)].

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß schon die äußerlich-morphologische Beobachtung den linearen, längsdifferenzierten Bau der Chromosomen, wie ihn die Vererbungslehre fordert, deutlich vor Augen führt. Noch offenkundiger wird dies bei Betrachtung des Feinbaues. Das Grundelement des mikroskopischen Feinbaues ist ein zarter Faden, das *Chromonema*; auf ihm sind in bestimmten Abständen bestimmt gestaltete kleine Körper, die *Chromomeren*, aufgereiht (dies ist die früher erwähnte allgemeine Längsdifferenzierung). Die Chromomeren sind stark „chromatisch" färbbar — auf ihnen ist die den Chromosomen eigentümliche Thymonukleinsäure lokalisiert —, während die sie verbindenden Zwischenfäden „achromatisch" sind. In den mittleren Mitosestadien ist das Chromonema zu einer *Spirale* (im Sinne einer Schraube oder genauer eines „Wendels") aufgewunden und stark mit chromatischer Substanz beladen, welche einen Mantel, die sog. *Matrix*, bildet, in der Chromomeren und Chromonema optisch untergehen, also unmittelbar nicht sichtbar sind. Im Ruhekern und besonders zu Beginn der meiotischen Prophase ist das Chromonema mehr oder weniger abgerollt und von Matrix entblößt[2]).

Der mitotische und meiotische Formwechsel beruht, soweit er in einer Verkürzung der Chromosomen und Verdickung oder umgekehrt besteht, in einer Spiralisierung bzw. Entspiralisierung des Chromonemas. Dabei spielt Wasseraufnahme und -abgabe eine wesentliche Rolle; auf diese Weise läßt sich experimentell in die Spiralisierung eingreifen, also etwa eine Abrollung der Chromonemaspirale an Stellen der Mitose erzwingen, wo das Chromonema normalerweise aufgeknäuelt ist, ja, es läßt sich sogar aus einer Teilungsfigur ein Ruhekern erzeugen (KUWADA 1937, 1939, KUWADA und NAKAMURA, KUWADA, SINKE und NAKAZAWA).

Abgesehen von der Spiralisierung wird der Chromosomenformwechsel noch von der verschiedenen Ausbildung der Matrix beherrscht. In der Prophase erfolgt eine Zunahme dieser Substanz, in der sich chemisch die Thymonukleinsäure erfassen läßt (CASPERSSON); in der Telophase wird die Matrix abgebaut, das Chromonema erscheint daher im Ruhekern wieder mehr oder weniger nackt. Das Heterochromatin wird in der Telophase nicht oder nicht so weit wie das Euchromatin entspiralisiert und von der Matrix entblößt, bleibt daher in dichter mitotischer Ausbildung erhalten, während das Euchromatin bis auf das Chromonema bzw. die Chromomeren abgebaut wird und die bekannte, optisch schwer auflösbare, scheinbar körnige Struktur des Ruhekerns ausmacht. In Wirklichkeit sind die „Körnchen" optische Querschnitte durch das regellos hin- und hergebogene, mit Chromomeren besetzte Chromonema; die Areale der ehemaligen Chromosomen, die unmittelbar unsichtbar werden, lassen sich durch Wasserentzug — welcher Spiralisierung, also Kontraktion des Chromonemas zur Folge hat — künstlich sichtbar machen (KUWADA, SINKE und NAKAZAWA[1]).

3. Spiral- und Chromonemabau.

Die Spiralisierung der Chromosomen in den mittleren Teilungsstadien, welche das an sich sehr lange Chromonema in eine manövrierfähige Form bringt und die geordnete anaphasische Trennung ermöglicht, ist erwiesen. Nicht so gewiß ist es jedoch, ob die Chromatiden (= Spalthälften, Anaphasechromosomen) je *ein* Chromonema oder deren *mehrere* enthalten. Die äußerste *klar erkennbare* Struktur in den somatischen Chromatiden der Anaphase ist eine einzige Spirale (DARLINGTON, GEITLER, UPCOTT, zuletzt DARLINGTON und LA COUR, GEITLER 1938 b). Die Spirale ist so dicht gewickelt, daß sich ihre Umgänge berühren (Fig. 2). Es sprechen aber die in den telophasisch aufgelockerten Chromatiden sichtbar werdenden Strukturen dafür, daß mehr als ein Chromonema vorhanden ist, oder anders ausgedrückt, daß das anaphasische Chromonema der Länge nach doppelt ist; die dicht aneinander liegenden Hälften rücken in der Telophase offenbar auseinander und werden dadurch sichtbar; allerdings geraten dabei die regelmäßigen Spiralwindungen in Unordnung, so daß die optischen Bilder recht verworren werden. Unter Umständen können in den Telophasechromatiden auch Strukturen gesehen werden, die dafür sprechen, daß jedes Teilchromonema wieder gespalten ist. Eine

[1]) Daß die Nukleolen bei höheren Pflanzen allgemein an solchen Einschnürungen entstehen (HEITZ, zuletzt RESENDE), wird neuerdings von MATSUURA (1939, VI) deshalb bezweifelt, weil bei *Trillium* die Nukleolen terminal an Chromosomen zu entstehen scheinen. Bei Protisten herrscht noch keine völlige Klarheit (vgl. RESENDE 1938).

[2]) Bildmaterial ist bei GEITLER (1938 a) und STRAUB (1938 a) zu finden.

[1]) Der Ruhekern hat auf jeden Fall eine *bestimmte* Struktur. Daß Kerne *typischerweise* im Leben optisch leer erscheinen (RIES), ist nicht zutreffend; es gibt wohl keine Blütenpflanze, deren Kerne im Leben nicht ihren Chromonema- oder Chromozentrenbau erkennen lassen. Optisch leere Kerne (manche Pilze und Tiere) stellen jene Grenzfälle dar, wo die Chromosomen während ihrer Umwandlung in den Ruhekern sehr viel Wasser aufnahmen.

Chromatide enthielte also, wie dies vor allem NEBEL angibt, vier Chromonemen, die nur in den Stadien der engsten Spiralisierung (in den mittleren Teilungs-

Fig. 2. Somatische Anaphase aus einer jungen Samenanlage von *Paris quadrifolia:* Spiralbau der Chromatiden (im Bild sind hauptsächlich die optischen Querschnitte des Chromonemas erkennbar). Photo, etwa 2500fach.

stadien) ineinandergeschoben und daher einzeln nicht sichtbar wären (Fig. 3).

Neben älteren Indizien sprechen vor allem die Untersuchungen KUWADAS und KUWADAS und NAKAMURAS dafür, daß die Chromatiden zumindest *zwei* Chromonemen enthalten. Zur Untersuchung gelangten die technisch besonders günstigen meiotischen Chromosomen in Pollenmutterzellen, wobei der Spiralbau durch Vorbehandlung mit 1/100 mol NH_4OH und Untersuchung in Karminessigsäure verdeutlicht wurde[1]). Dabei konnte auch die schon bekannte Tatsache erneut bewiesen werden, daß die auffallenden, auch im Leben erkennbaren Spiralen („Großspiralen") der meiotischen Chromosomen in sich schraubig gewickelt sind, also eine sog. Kleinspirale „enthalten". Jedes der beiden Chromonemen einer meiotischen Chromatide ist somit wie ein Doppelwendel einer Glühlampe gebaut (Fig. 4[2]). Durch Verschiebung der Schraubengänge der beiden Kleinspiralen gegeneinander entsteht in der Pro- und Telophase das bezeichnende „netzige" Aussehen, das begreiflicherweise optisch schwer auflösbar ist (KUWADA und KUWADA, SINKE und NAKAZAWA). Beim Ineinander- und Auseinanderschieben spielt, wie sich experimentell zeigen läßt, Wasserabgabe und -aufnahme eine wesentliche Rolle. Durch künstliche Dehydration läßt sich auch der scheinbar körnig gebaute Interkinesekern von *Tradescantia* in das Spiralstadium der frühen

Fig. 3. Schema der Metaphasechromosomen nach NEBEL: in jeder Chromatide liegen zwei Chromonemapaare.

Prophase bringen; dies zeigt, daß der Ruhekern tatsächlich aus entspiralisierten Chromonemen besteht (in völlig ruhenden Kernen werden vielleicht auch die Chromomeren des Chromonemas sichtbar); wie erwähnt, treten dabei auch die den einzelnen Chromosomen entsprechenden Areale in Erscheinung (besonders auffallend erfolgt dies in der meiotischen Prophase von Insekten, deren Chromosomen im Kern ziemlich locker liegen).

Aus dem Vergleich der Chromosomen der I. und II. meiotischen Teilung ergibt sich, daß die verschiedene äußere Chromosomenform, die vor allem durch das Längen-Breitenverhältnis bestimmt wird, durch verschiedene Spiralisierung hervorgerufen wird: bei konstanter Länge des Chromonemas entstehen dicke und kurze Chromosomen, wenn das Chromonema doppelt geschraubt ist, aber lange und schmale Chromosomen, wenn es einfach spiralisiert ist. Zwischen den beiden Grenzfällen sind alle Übergänge möglich, die Chromosomen der II. Teilung können die Großspiralen der I. Teilung beibehalten oder abrollen. Bei *Allium* sind auch die Chromosomen der postmeiotischen Teilung (im Pollenkorn) so dick und kurz und enthalten so große Spiralen, daß, obwohl Kleinspiralen hier nicht unmittelbar sichtbar sind, solche doch vermutet werden müssen.

In letzter Zeit hat sich allerdings ergeben, daß die Annahme der Konstanz der Chromonemalänge (genauer der Länge des sichtbaren Chromonemas) nicht ohne weiteres aufrechterhalten werden kann (STRAUB 1939 a, b, WILSON und HUSKINS). Besonders WILSON und HUSKINS haben durch ausreichend genaue Messungen an *Trillium* festgestellt, daß sich das Chromonema von der Diakinese bis zur I. Anaphase, während es sich in die Großspiralen legt, etwa auf das doppelte verlängert; die Länge des Chromosoms bleibt dabei ungefähr gleich. Eine sichere Deutung dieses Verhaltens halten WILSON und HUSKINS für ausgeschlossen, da sie letzten Endes auf den molekularen Feinbau Bezug nehmen müßte. Vielleicht ist dies aber in diesem Falle nicht nötig, da sich das „Wachstum" des Chromonemas von *Trillium* auch durch das Vorhandensein einer unter der Grenze der optischen Auflösbarkeit stehenden Kleinspirale erklären läßt. Das *allgemeine* Problem, ob ein echtes Längenwachstum des Chromonemas möglich ist, ist allerdings viel verwickelter (vgl. den nächsten Hauptabschnitt).

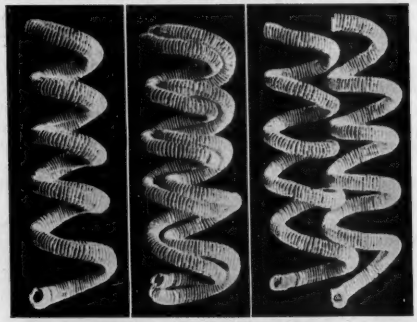

Fig. 4. Modell des Doppelwendelbaues der Chromosomen (Groß- und Kleinspiralen) und der Ineinanderschiebbarkeit (a) und Trennbarkeit (b, c) doppelt gewickelter Chromonema. Nach KUWADA.

[1]) Über die Technik der Spiraldarstellung vgl. die Zusammenstellung bei MATSUURA 1939, XI.

[2]) HUSKINS (zuletzt in WILSON und HUSKINS) kann dagegen bei *Trillium* unter keinen Umständen Kleinspiralen nachweisen, sondern findet in den Großspiralen höchstens eine zickzackförmige Anordnung.

Das Vorkommen einer doppelten Spiralisierung in den meiotischen Chromosomen zieht die Frage nach sich, ob nicht auch das Chromonema der somatischen Chromosomen doppelt gewickelt ist. Zu sehen ist tatsächlich nur ein einziges System von Schraubenwindungen, dessen Ausbildung z. B. bei *Paris quadrifolia* etwa die Mitte hält zwischen den meiotischen Groß- und Kleinspiralen (die Zahl der Windungen ist größer als die der meiotischen Großspiralen und kleiner als die der meiotischen Kleinspiralen, GEITLER 1938 b, d); verschiedene Gründe machen es aber wahrscheinlich, daß auch das Chromonema der somatischen Spiralen noch in kleinste Spiralwindungen gelegt ist (DARLINGTON und LA COUR): so läßt sich zwar die Gestalt der somatischen Metaphasechromosomen durch einfache Spiralisierung des in der somatischen Prophase „gestreckten" Chromonemas verstehen (PÄTAU 1937); die somatischen Chromonemen sind aber kürzer als die meiotischen, sie können also nicht maximal gestreckt sein. Dies zeigt sich offenbar auch darin, daß der Chromomerenbau am somatischen Chromonema nicht zu sehen ist, die Chromomeren also mehr zusammengerückt sind als in der meiotischen Prophase; wenn man keine Längskontraktion des Chromonemas annehmen will, so läßt sich das Zusammenrücken der Chromomeren auf dem somatischen Chromonema nur durch Bildung einer kleinsten Spirale erklären.

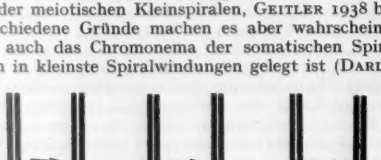

Fig. 5. Schema der strahlenausgelösten Brüche in einem längsgespaltenen Chromosom: a) Chromosomenbruch, b) Chromatidenbruch, c) Halbchromatidenbruch.

In Anbetracht der Grenzen der unmittelbaren mikroskopischen Untersuchung fehlt es nicht an Versuchen, zur Klärung des Chromosomenbaues indirekte Methoden heranzuziehen. Polarisationsoptische Untersuchungen nehmen von der Tatsache ihren Ausgang, daß das „Chromatin" infolge der Parallellagerung der Thymonukleinsäuresubmikronen negative Eigendoppelbrechung besitzt (SCHMIDT). Bei zur Längsachse des Chromonemas paralleler Lage müßten die Chromosomen bei einfacher Spiralisierung in bezug auf ihre Längsachse positiv, bei doppelter Spiralisierung negativ doppelbrechend erscheinen; tatsächlich erbrachte der Vergleich der Chromosomen der I. und II. meiotischen Teilung das erwartete Ergebnis. Andererseits liegen einander widersprechende Ergebnisse vor (z. B. SCHMIDT 1938 und KUWADA und NAKAMURA 1939) und die methodischen Voraussetzungen sind noch so unsicher (vgl. BECKER und KOZBIAL), daß eine wesentliche Förderung des Problems der Spiralisierung vorläufig nicht zu verzeichnen ist.

Dagegen konnte das Problem des Mehrfachbaues der Chromatiden durch Versuche mit Röntgenstrahlen mit einem gewissen Erfolg in Angriff genommen werden. Die Strahlenwirkung besteht unter anderem darin, daß in den Chromosomen Querbrüche auftreten. Wenn die Chromatiden zwei Chromonemen enthalten, so ist es denkbar, daß beide verschieden beeinflußt werden; in diesem Falle würden nach der Bestrahlung nicht quer zerbrochene Chromosomen oder Chromatiden, sondern *Halb*chromatiden auftreten (Fig. 5). Dies konnte tatsächlich beobachtet werden (neuerdings MARSHAK). NEBEL glaubt aus solchen Versuchen sogar schließen zu können, daß jede Chromatide, wie in Fig. 3 dargestellt, aus vier Chromonemen aufgebaut ist (doch wird bestenfalls bewiesen, daß vier gegenüber der Bestrahlung verschieden reaktionsfähige Elemente vorhanden sind.) Gegenteilige Beobachtungen MATHERS, RILEYS und MARQUARDTS, denen zufolge bei Bestrahlung zu einem lange vor der Mitose liegenden Zeitpunkt Brüche des gesamten Chromosoms, bei Bestrahlung zu einem späteren Zeitpunkt Brüche durch die ganzen Chromatiden, aber Halbchromatidenbrüche überhaupt nicht auftreten, und die daher zu zeigen scheinen, daß im Ruhekern die Chromosomen einheitlich sind und auch vor der Mitose nur aus *zwei einfachen* Chromatiden bestehen, sind deshalb nicht beweisend, weil eine weitere Spaltung wohl vorhanden sein kann, aber infolge physiologisch gleichen Verhaltens der Spalthälften im Röntgenversuch nicht in Erscheinung zu treten braucht (MARQUARDT, BAUER 1938 b). Daß dem tatsächlich so ist, folgt, abgesehen von den mikroskopischen Beobachtungen KUWADAS u. a., aus den mit *positivem* Ergebnis durchgeführten Röntgenversuchen.

Nach allem kann es als gesichert gelten, daß die Chromatiden in den mittleren Teilungsstadien zwei Chromonemen enthalten, die ganzen Metaphasechromosomen also vierteilig sind. Ob die ana- und telophasischen Chromatiden ihre beiden Chromonemen schon wieder gespalten haben, wie NEBEL angibt, oder ob die Spaltung erst in oder nach der Interkinese eintritt, ist vielleicht nicht so wesentlich. Wie BAUER (1938 b) betont, ist es weniger von allgemeiner Bedeutung, „ob das Chromosom aus relativ unabhängigen Chromonemen besteht, sondern ob es aus Längselementen geringerer Größenordnung aufgebaut ist, die ihrerseits zu mehreren das Chromonema bilden".

Diese Fragestellung führt bereits auf submikroskopisches Gebiet. Als Überleitung hierzu sei zunächst auf die Erscheinung der verschiedenen Chromosomengrößen, genauer -volumina, hingewiesen, die eine noch völlig offene Problematik in sich schließt.

In allen Untersuchungen, die den mikroskopischen Feinbau betreffen, wird stillschweigend vorausgesetzt, daß die Chromosomen eines Organismus grundsätzlich immer gleich aufgebaut sind. Dies ist zweifellos soweit richtig, als sich die Aussage auf die eindimensionale Grundstruktur bezieht. Darüber hinaus sind aber Zweifel möglich, die besonders durch die Volumschwankungen, welche die Chromosomen während der Ontogenese erleiden können, nahegelegt werden. Es handelt sich dabei nicht um Formveränderungen, die auf verschiedener Spiralisierung beruhen könnten (obwohl diese auch mitspielen können), sondern um Veränderungen des Volumens als solchen. Einige Beispiele wurden in anderem Zusammenhang an dieser Stelle erst unlängst gegeben (GEITLER 1940 a); hier sei auf Fig. 6 hingewiesen (vgl. dazu GEITLER 1940 b). Solche ontogenetische Volumschwankungen hat besonders G. HERTWIG hervorgehoben und daraufhin den Begriff der vielwertigen Chromosomen geschaffen. Nach

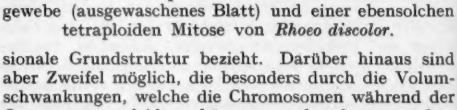

Fig. 6. Chromosom aus einer diploiden Mitose eines Meristems, einer diploiden Mitose aus einem Wundgewebe (ausgewaschenes Blatt) und einer ebensolchen tetraploiden Mitose von *Rhoeo discolor*.

dieser Vorstellung würden einfache Chromosomen ihre hypothetischen Einheiten verdoppeln, vervierfachen usw. können und umgekehrt würden vielwertige Chromosomen wiederholt sich in die halbe Zahl ihrer Elemente aufteilen können; doch lassen sich hiergegen verschiedene Einwendungen machen (GEITLER 1940a). Im Besonderen ist weder eine genaue Volumbestimmung der Chromosomen durchgeführt worden (so daß der Rhythmus der Verdoppelung usw. nicht feststeht), noch ist bisher eine morphologische Analyse der Chromonemenzahl und Spiralisierung versucht worden. Die Tatsache der verschiedenen Chromosomenvolumina bleibt aber bestehen und fordert eine Erklärung[1]).

Grundsätzlich bestehen drei Möglichkeiten, ein steigendes Volumen zu erklären: 1. die Zahl der (sichtbaren) Chromonemen wird vermehrt; 2. die Chromonemenzahl (2 oder 4) bleibt die gleiche, ihre (hypothetischen) Grundelemente erfahren eine Vermehrung; 3. es erfolgt bei gleichbleibendem Chromonemabau eine Vermehrung der Hüllsubstanz [sei es der gesamten Chromosomenmatrix oder einer Hüllsubstanz der Einzelchromonemen[2])]. Es könnten diese Veränderungen auch kombiniert auftreten; so könnte etwa eine durch Vervielfachung der Chromonemen verursachte rhythmische Volumzunahme, wenn sie äußerlich nicht in Erscheinung tritt (wie besonders bei den Diatomeen, vgl. GEITLER 1940 a), durch Zunahme von Hüllsubstanz maskiert sein, wodurch ein kontinuierliches Wachstum vorgetäuscht würde.

Eine Entscheidung ist nicht möglich, weil die nötigen mikroskopischen Beobachtungen noch fehlen. Jedenfalls dürfte ein gewisser Zusammenhang mit der Erscheinung des inneren Kernwachstums in undifferenzierten Zellen bestehen (GEITLER 1940 a). Bei *Rhoeo discolor* und *Epidendrum ciliare* treten in Meristemen diploide Mitosen mit kleinen Chromosomen auf, während diploide Mitosen aus regenerierenden Dauergeweben große Chromosomen zeigen; in tetraploiden Dauergeweben finden sich nur große Chromosomen (Fig. 6, GEITLER 1940 b).

4. Chromomerenbau, Heterochromatin, submikroskopischer Feinbau.

Das Chromonema besitzt, wie früher erwähnt, eine konstante Gliederung in Chromomeren und Zwischenfäden. Die Chromomeren sind durch ihre starke chromatische Färbbarkeit, die auf dem Vorhandensein von Thymonukleinsäure beruht, ausgezeichnet, während die Zwischenfäden nur Proteine enthalten (zuletzt CASPERSSON).

Die Chromomeren sind allein dann erkennbar, wenn das Chromonema gestreckt und von Matrix entblößt ist. Dieser Zustand tritt allgemein in der meiotischen Prophase ein und findet sich außerdem in den Riesenkernen der Speicheldrüsen und anderer Organe der Dipterenlarven (vgl. die an dieser Stelle von PÄTAU 1935 gegebene Übersicht sowie GEITLER 1938 a und HEBERER). Die Riesen„chromosomen" dieser Kerne sind, wie seit den Untersuchungen BAUERS bekannt ist, in Wirklichkeit dichte Bündel von mehreren hundert Chromosomen, die sich im Zustand des gestreckten, mit Chromomeren besetzten Chromonemas befinden (Fig. 7); sie sind durch innere Teilung während des Kernwachstums und unter Beisammenbleiben („Paarung") der Abkömmlinge eines ursprünglichen Chromosoms entstanden[1]).

Für die Betrachtung des Chromomerenbaues ist es an sich unwesentlich, ob die Riesenchromosomen einfach oder gebündelt sind. Doch wird die Untersuchung durch die bedeutendere Größe erleichtert, wozu noch kommt, daß die Chromonemen in den Riesenchromosomen 8—10mal länger als in der meiotischen Prophase (im Pachytän) sind (nach BRIDGES beträgt die Länge des *X*-Chromosoms von *Drosophila melanogaster* in der Mitose etwa 2 μ, in den Riesenchromosomen 140—200 μ). Auf Grund dieser günstigen Verhältnisse ist es gelungen, für *Drosophila* Chromosomenkarten zu entwerfen, in denen alle Chromomeren dargestellt und bezeichnet werden können. Bei *Drosophila melanogaster* beträgt der Gesamtbestand an Chromomeren des *X*-Chromosoms 1024 (BRIDGES). Der Vergleich dieser Chromosomenkarten mit den auf Grund des Vererbungsexperimentes konstruierten Genkarten erlaubt es, unter Verwendung von Chromosomenaberrationen (wie Ausfälle und Umkehrungen von Chromosomenabschnitten), die Gene an bestimmten Stellen der Chromosomen zu lokalisieren. Durch ältere derartige Untersuchungen MULLERS und PROKOFJEVAS schien es möglich, als Sitz *eines* Gens *ein* Chromomer zu betrachten. Neuere Untersuchungen SLIZYŃSKAS zeigen dagegen, daß sich die Einengung nicht soweit treiben läßt; es ist danach noch weder ganz sicher, daß die Gene nicht in den Zwischenfäden, sondern in den Chromomeren liegen — was sehr wahrscheinlich ist — noch daß ein Chromomer nur ein einziges Gen enthält. Einen gewissen Indizienbeweis dafür, daß im allgemeinen einem Gen ein Chromomer entspricht, liefert die Berechnung der Anzahl der Gene im *X*-Chromosom von *Drosophila melanogaster* (ALIKHANIAN), die 968 ergibt, und somit mit der von BRIDGES gefundenen Anzahl der Chromomeren (1024) annähernd übereinstimmt (auch die geschätzte Gesamtzahl der Gene — 5000—10000 — und die Gesamtzahl der Chromomeren, ist von der gleichen Größenordnung). Andererseits konnte CASPERSSON mit Hilfe der Ultraviolettphotographie die Chromomeren in feinste, 0,1 μ dicke Querelemente auflösen, und FREY-WYSSLING hält es für wahrscheinlich, daß die Unterteilung der sichtbaren Chromomeren noch weiter geht; daß die genaue Lokalisation der Gene dadurch zunächst unmöglich gemacht wird, ist klar.

Eine besondere Eigentümlichkeit zeigt in den Riesenchromosomen das Heterochromatin. Wie seiner-

[1]) Hier wie im folgenden sind immer die ontogenetischen Volumschwankungen zu verstehen; es zeigen sich aber ganz analoge Erscheinungen auch beim Vergleich der Chromosomengrößen verwandter Arten, so vor allem von in der Natur auftretenden Diploiden und Polyploiden (STRAUB 1938).

[2]) Von einer bloß vorgetäuschten Volumzunahme, z. B. durch Aufquellung infolge p_H-Änderungen oder nach bestimmter Fixierung, sei hier natürlich abgesehen.

[1]) Die Tatsache der „Paarung" steht offenbar im Zusammenhang mit der den Dipteren eigentümlichen extremen Entspiralisierung des Chromonemas, da sie sich in den polyploiden Kernen der Wanzen nicht findet (GEITLER 1938 e). — Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß METZ (zuletzt 1939) die allgemeine Auffassung vom Chromonemabau der Riesenchromosomen, die auch hier vertreten wird, für irrig hält. Seine Meinung beruht auf einer abweichenden Deutung des optischen Aussehens der Riesenchromosomen; es scheint aber, daß METZ' Deutung, auch wenn sie richtig ist, an der grundsätzlichen Auffassung der maximal gestreckten Chromonemen wenig ändern kann.

zeit HEITZ nachgewiesen hat, sind die heterochromatischen Abschnitte der Chromosomen sehr arm an Genen (vgl. neuerdings FUJII). In den Riesenchromosomen zeigen sie im Vergleich zu den euchromatischen Abschnitten nur eine sehr geringe Zahl von Chromomeren (was also ebenfalls dafür spricht, daß die Gene in den Chromomeren liegen). Der Abstand der Chromomeren im Heterochromatin der Riesenchromosomen ist aber der gleiche wie im Euchromatin, die heterochromatischen Abschnitte sind also im ganzen im Vergleich zu den Verhältnissen in der Mitose sehr kurz; während die euchromatischen Abschnitte etwa 100mal länger als in der Mitose sind, erscheinen die heterochromatischen nur sehr geringfügig verlängert; umgekehrt sind also die heterochromatischen Abschnitte im Vergleich zu ihrer Kürze und Chromomerenarmut in den Riesenchromosomen in der Mitose „zu lang".

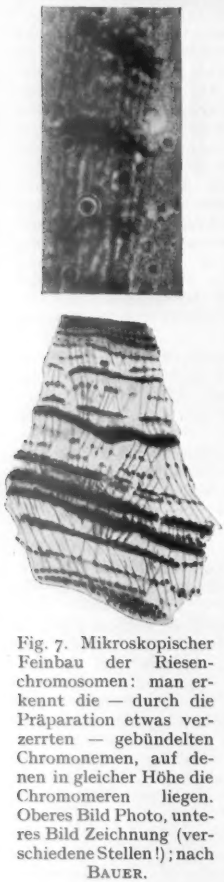

Fig. 7. Mikroskopischer Feinbau der Riesenchromosomen: man erkennt die — durch die Präparation etwas verzerrten — gebündelten Chromonemen, auf denen in gleicher Höhe die Chromomeren liegen. Oberes Bild Photo, unteres Bild Zeichnung (verschiedene Stellen!); nach BAUER.

Diese eigentümliche, zur Zeit noch nicht deutbare Tatsache führt mitten hinein in die Problematik des submikroskopischen Feinbaues der Chromosomen. Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten der Erklärung: 1. das Chromonema besitzt konstante Länge; in diesem Falle würde es in den Riesenchromosomen maximal ausgestreckt sein, während die geringere Länge in der meiotischen Prophase und erst recht in der Mitose durch Spiralisierung zustande käme; in den heterochromatischen Abschnitten der Mitosechromosomen, die „zu lang" sind, müßte die Spiralisierung schwächer sein, und die mit den euchromatischen Abschnitten gleiche Dicke müßte durch reichlichere Ausbildung von Hüllsubstanz erreicht werden. 2. Die mitotische Spiralisierung ist im Eu- und Heterochromatin die gleiche; dann muß die beträchtlichere Länge der euchromatischen Abschnitte in den Riesenchromosomen durch ein zusätzliches Längenwachstum ihres Chromonemas erreicht werden.

BRIDGES und COOPER nehmen an, daß die außerordentliche Länge der euchromatischen Abschnitte der Riesenchromosomen allein durch Abrollung des mitotischen Chromonemas nicht erklärt werden kann; durch die Abrollung erhielte das Chromonema nur die Länge, die es in der meiotischen Prophase aufweist. Würde das Chromonema in den mitotischen Chromosomen die gleiche Länge wie in den Riesenchromosomen besitzen, so müßte es entweder in eine unwahrscheinlich große Zahl von Schraubenwindungen (etwa 250) gelegt oder in Klein- und Großspiralen gewickelt sein[1]). Da in den kleinen mitotischen Dipterenchromosomen Spiralen überhaupt nicht sichtbar sind, ist eine unmittelbare Entscheidung ausgeschlossen.

Indirekte Anzeichen sprechen aber dafür, daß sich der gesamte Chromonemaformwechsel dennoch durch Spiralisierung verstehen läßt. BAUER (1938 a) beobachtete in Nährzellen von Musciden den Zerfall von Riesenchromosomen in mitotische Chromosomen, deren Zahl viel höher war als die Zahl der in den Riesenchromosomen mikroskopisch erkennbaren Chromonemen (Fig. 7). Die Strukturen, die als einzelne Chromonemen erscheinen, sind in Wirklichkeit offenbar Bündel von Chromonemen; der Durchmesser des „eigentlichen" Chromonemas liegt also unter der Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit[2]). Damit ist ein Anhaltspunkt dafür gewonnen, daß der außerordentlichen Verlängerung in den Riesenchromosomen die Abwicklung eines submikroskopischen Spiralchromonemas zugrunde liegt.

Daß diese Annahme ernstlich in Erwägung gezogen werden muß, hat darin seinen Grund, daß einem echten Längenwachstum des Chromonemas (oder, genauer gesagt, der sein Grundelement ausmachenden eindimensionalen Struktur) etwa in der Weise (COOPER), daß zwischen die Chromomeren neue Substanz eingelagert wird, große theoretische Schwierigkeiten entgegenstehen. Denn das eigentliche Gerippe des Chromonemas, also der Strang, auf dem die Gene in bestimmten Abständen aufgereiht sind und von dem die genetisch unwesentliche Hüllsubstanz wegzudenken ist, läßt sich zwanglos nur als „lückenlose Molekülkette" (Bauer 1938 b) auffassen. Mit FREY-WYSSLING wäre dabei an eine durchlaufende Polypeptidkette zu denken, an der als Substrat der Gene besondere Seitenketten anzunehmen wären, deren Lage durch die Fixierung in der Hauptvalenzkette festgelegt wäre. Durch die Annahme von Eiweißkettenmolekülen (Makromolekülen) findet die eindimensionale Chromonemastruktur tatsächlich ihren klarsten und letzten Ausdruck[3]).

Im Rahmen dieser Vorstellungen erscheint ein echtes Längenwachstum, also Einschaltung neuer Substanz zwischen die Endbindungen der Polypeptidkette, im Hinblick auf die Konstanz der Genanordnung kaum möglich. Auch unter Annahme eines Mizellarbaues des eigentlichen Chromonemas ist ein Längenwachstum bei konstanter Genfolge schwer vorstellbar, da sich dieses — in Analogie zum Wachstum pflanzlicher Zellwände — durch Vorbeischieben nebeneinander liegender Molekülkettenverbände abspielen müßte (FREY-WYSSLING, BAUER brieflich). Es bleibt daher die Annahme einer submikroskopischen Spiralisierung,

[1]) In großen somatischen Chromosomen von Blütenpflanzen sind 20—30 Windungen vorhanden (Fig. 2).

[2]) Auch PAINTER faßt die sichtbaren Chromonemen als *Bündel* submikroskopischer Chromonemen auf (vgl. METZ).

[3]) Es sei in diesem Zusammenhang daran erinnert, daß durch Röntgenstrahlen ausgelöste Genmutationen und Chromosomenbrüche durch einen „Treffer" in Form einer Ionisation ausgelöst werden. Als Arbeitshypothese wird angenommen (TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, BAUER 1939, EBERHARDT), das das Primärereignis im Falle der Genmutationen in einer intramolekularen Umgruppierung (in einer Seitenkette) oder im Falle der Brüche in der Aufhebung einer Endbindung besteht.

wobei noch zu erwägen wäre, wieweit das „Wachstum" auf molekularer Faltung bzw. der durch die Drehbarkeit der Valenzbindungen gegebenen Streckungs- und Aufknäuelungsfähigkeit der Ketten beruht (den wechselnden Streckungsgrad der Eiweißmoleküle verwendet neuerdings W. J. SCHMIDT [1939] als Grundlage der Zugfasertheorie des Mitosemechanismus).

Aus dem polarisationsoptischen Verhalten lassen sich für diese Fragen keine Schlüsse ziehen. Abgesehen von den früher erwähnten methodischen Mängeln kann man im Falle der mitotischen Chromosomen nicht entscheiden, welchen Anteil die Matrix, welchen das Chromonema nimmt. In den Riesenchromosomen, denen eine Matrix fehlt, erscheinen die Chromomeren, d. h. die daselbst lokalisierte Thymonukleinsäure, in bezug auf die Längsrichtung des Chromonemas negativ doppelbrechend, woraus SCHMIDT (1938) auf Parallellagerung der aus den Kettenmolekülen der Thymonukleinsäure aufgebauten Verbände und deren Längsstellung im Chromonema schließt (bei KUWADA und NAKAMURA findet sich allerdings ein gegenteiliger Befund).

Daß die Thymonukleinsäure nicht zu den permanenten Chromosomenstrukturen gehört, also vererbungstheoretisch belanglos ist, ergibt sich aus verschiedenen älteren wie aus neueren Beobachtungen, die ihre mengenmäßige Schwankung während des Chromosomenformwechsels zeigen; im besonderen hat die Zunahme in der Prophase CASPERSSON mittels seiner Ultraviolettabsorptionsmethode genau nachgewiesen. Doch braucht die Nukleinsäure nicht überhaupt als „unwesentlich" zu gelten, wenn auch als eigentliches Substrat der Vererbung die chemisch viel mannigfaltigeren Eiweißsubstanzen allein in Betracht kommen. Ausgehend von der Beladung der Chromosomen mit Nukleinsäure in der Mitose nimmt FREY-WYSSLING an, daß die Nukleinsäure die im Ruhekern (= Arbeitskern) reaktionsfähigen Seitenketten (d. i. die eigentlichen Genträger) während des inaktiven Zustands in der Mitose abschirmt. „Auf diese Weise würde verständlich, warum die Nukleinsäuren nur an bestimmten Stellen, nämlich dort, wo die Gene an den Hauptketten sitzen, lokalisiert werden, und so ein getreues Abbild der Genverteilung liefern, wie dies durch die Zytologie erwiesen ist[1]). Die Bemühungen, die feine und feinste Verteilung der Nukleinsäuren im Chromonema nachzuweisen, sind deshalb letzten Endes gar nicht „paradox", denn jene wären geradezu die Indikatoren für die spezifischen Seitengruppen der Eiweißketten, die als Gene wirken".

Zusammenfassend läßt sich sagen: die Verlängerung der sichtbaren Chromonemen in den Riesenchromosomen ist eine Beobachtungstatsache; die theoretischen Anschauungen über den submikroskopischen Feinbau sprechen dafür, daß ihr eine submikroskopische Entspiralisierung, aber kein echtes Längenwachstum entspricht; eine tatsächliche Entscheidung ist noch nicht möglich.

Ebensowenig läßt sich das abweichende Verhalten des Heterochromatins in den Riesenchromosomen endgültig verstehen, da sich die Problemstellung auf submikroskopisches Gebiet erstreckt. Sicher ist, daß das Heterochromatin in seiner gewöhnlichen Erscheinungsform in der Mitose und in Ruhekernen ein mikroskopisch erkennbares spiralisiertes Chromonema besitzt (SHINKE und OURA konnten es im Ruhekern unter Verquellung der Matrix künstlich zur Abwicklung bringen, wobei sich das Aussehen von Euchromatin einstellte). Ein wesentliches Merkmal des Heterochromatins besteht ja eben darin, daß die Entspiralisierung des sichtbaren Chromonemas in der Telophase unterbleibt. Für die relativ geringe Längsstreckung in den Riesenchromosomen könnte also nur eine kleinere und wohl submikroskopische Spirale verantwortlich gemacht werden. Ein anderes Merkmal — das wahrscheinlich die Ursache des ersten ist — liegt in dem Besitz einer größeren Menge von Hüllsubstanz. Wo eine genaue Beobachtung möglich ist, wie in der meiotischen Prophase von Blütenpflanzen (DARLINGTON und GEITLER an *Agapanthus*, MARQUARDT 1937 an *Oenothera*), in polyploiden Kernen von Blütenpflanzen (GEITLER 1938 b, GRAFL) und vor allem in den Riesenchromosomen (BAUER u. a.) läßt sich feststellen, daß die Chromomeren der heterochromatischen Abschnitte substanzreicher sind („Heterochromomeren" BAUERS). Durch diese Überladung mit Hüllsubstanz wird die Trägheit des mitotischen Spiralisierungsformwechsels wie auch das Nachhinken in der Endomitose der Wanzen (GEITLER 1939) und wohl auch die geringe Neigung zur Paarung und Chiasmabildung (LORBEER, MARQUARDT 1937 u. a.) verständlich. Die genische Inaktivität drückt sich in der schütteren Lage der Chromomeren (diese als Genträger vorausgesetzt) in den mitotischen Chromosomen (nicht Chromonemen) aus; will man in die Chromomeren die Fähigkeit verlegen, den Formwechsel des Chromosoms zu steuern, so würde eben das vom Euchromatin abweichende Verhalten des Formwechsels der Ausdruck des Mißverhältnisses von Chromomerenzahl und Menge der Matrixsubstanz sein.

Die vergleichende Cytologie legt die Auffassung nahe, daß das Heterochromatin Teile darstellt, die sich im phylogenetischen Abbau befinden. Als „rudimentäre Chromosomen" sind vielfach die Geschlechtschromosomen aufzufassen, die ganz oder zum Teil heterochromatisch sind. In dieser Richtung deutet besonders das Verhalten des Y-Chromosoms, das offenbar auf dem Wege zum völligen Ausfall, wie ihn der XO-Typus darstellt, begriffen ist (so bei *Drosophila* und namentlich vielen Wanzen, wo es in den somatischen Ruhekernen weitgehend inaktiv erscheint; vgl. GEITLER 1939).

Ein tieferes Verständnis des Heterochromatins ist vielleicht bei näherer Berücksichtigung der Tatsache zu erwarten, daß es typisch verschiedene Ausbildungsweisen des Heterochromatins, das also ein Sammelbegriff ist, gibt. So unterschied schon HEITZ bei *Drosophila* ein α- und ein β-Heterochromatin, ähnlich treten bei Wanzen verschiedene Heterochromatine auf und auch bei Blütenpflanzen finden sich entsprechende Unterschiede (GEITLER 1938 c, GRAFL). Es scheint, daß es sich dabei im wesentlichen um quantitative Unterschiede handelt, die sich äußerlich als größere oder geringere Dichte und Trägheit im Formwechsel ausdrücken; anscheinend ist das Mißverhältnis zwischen Chromomerenzahl und Hüllsubstanz verschieden.

So steht am Ende der Schilderung des Chromosomenbaues eine Reihe ungelöster Probleme und mehr oder weniger wahrscheinlicher Spekulationen. Doch ergibt es sich eben daraus, daß Fragen, wie die nach den letzten Baueigentümlichkeiten der Chromosomen, in präziser Form überhaupt gestellt werden können, wie viele sichere Ergebnisse bereits vorhanden sein müssen. Die Kernforschung bildet, soweit sie sicheren Boden unter sich hat, eine weitausgebaute Synthese zwischen zwei ursprünglich verschiedenen Teilgebieten der Biologie, der morphologischen Cytologie und der experi-

[1]) Wie früher erwähnt, steht der endgültige Beweis noch aus.

mentellen Genetik; hinzu treten nun Physik und Chemie, und es ist im Hinblick auf das geringe Alter derartiger Verknüpfungsversuche selbstverständlich, daß eine befriedigende Zusammenfassung der Zukunft vorbehalten bleibt.

Literatur.

S. J. ALIKHANIAN, A study of the lethal mutations in the left end of the sex-chromosome in Drosophila melanogaster. Zool. Ž. **16** (1937). — H. BAUER, Die polyploide Natur der Riesenchromosomen. Naturwiss. **26** (1938 a) — Cytogenetik. Fortschr. Zool. **3** (1938 b) — Röntgenauslösung von Chromosomenmutationen bei Drosophila melanogaster. I. Bruchhäufigkeit, -verteilung und -rekombination nach Speicheldrüsenuntersuchung. Chromosoma **1** (1939). — W. A. BECKER u. J. KOZBIAL, On the optical peculiarities of somatic chromosomes. Acta Soc. bot. pol. **14** (1937). — C. B. BRIDGES, A revised map of the salivary gland X-Chromosome. J. Hered. **29** (1938). — J. G. CARLSON, Some effects of X-radiation on the neuroblast chromosomes of the grasshopper Chortophaga viridifasciata. Genetics **23** (1938). — T. CASPERSSON, Über den chemischen Aufbau der Strukturen des Zellkerns. Skand Arch. Physiol. (Berlin u. Leipzig) **73**, Suppl. **8** (1936) — Über die Rolle der Desoxyribosenukleinsäure bei der Zellteilung. Chromosoma **1** (1939). — K. W. COOPER, Concerning the origin of the polytene chromosomes of diptera. Proc. nat. Acad Sci. U.S.A. **24** (1939). — C. D. DARLINGTON, Misdivision and the genetics of the centromere. J. Genet. **37** (1939). — C. D. DARLINGTON u. L. LA COUR, Differential reactivity of the chromosomes. Ann. of Bot., n. s. **2** (1938). — K. EBERHARDT, Über den Mechanismus strahleninduzierter Chromosomenmutationen bei Drosophila melanogaster. Chromosoma **1** (1939). — A. FREY-WYSSLING, Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate. Protoplasma-Monogr. **15** (1938). — S. FUJII, An evidence for the presence of inert regions in the autosomes of Drosophila virilis. Cytologia **9** (1939). — L. GEITLER, Chromosomenbau. Protoplasma-Monogr. **14**, 1938 a — Weitere Untersuchungen über den Spiralbau der Chromosomen. Z. Zellforsch. **28** (1938 b) — Über das Wachstum von Chromozentrenkernen und zweierlei Heterochromatin bei Blütenpflanzen. Z. Zellforsch. **28** (1938 c) — Weitere cytogenetische Untersuchungen an natürlichen Populationen von Paris quadrifolia. Z. indukt. Abstammgslehre **75** (1938 d) — Über den Bau des Ruhekerns mit besonderer Berücksichtigung der Heteropteren und Dipteren. Biol. Zbl. **58** (1938 e). — Das Heterochromatin der Geschlechtschromosomen bei Heteropteren. Chromosoma **1** (1939) — Neue Untersuchungen über Bau und Wachstum des Zellkerns in Geweben. Naturwiss. **28** (1940 a). — Kernwachstum und Kernbau bei zwei Blütenpflanzen. Chromosoma **1** (1940 b). — G. GOTTSCHEWSKI, Neuere genetische Untersuchungen an Drosophila in ihrer Bedeutung für das Abstammungsproblem. Naturwiss. **1939**. — I. GRAFL, Kernwachstum durch Chromosomenvermehrung als regelmäßiger Vorgang bei der pflanzlichen Gewebedifferenzierung. Chromosoma **1** (1939). — A. P. HALL, A note on behavoir of the chromosomes in Euglena. Trans amer. micr. Soc. **56** (1937). — G. HEBERER, Neuere Ergebnisse der Chromosomenforschung mit besonderer Berücksichtigung des Menschen. Verh. dtsch. Ges. Rassenforsch. **9** (1938). — G. HERTWIG, Der Furchungsprozeß des Mäuseeies, ein Beispiel für die wiederholte Volumenhalbierung polymerer Kerne und Chromosomen durch multiple Sukzedanteilungen. Z. mikrosk.-anat. Forsch. **45** (1939). — C. L. HUSKINS, The internal structure of chromosomes, a statement of opinion. Cytologia, Fujii Jubil. Vol. **1937**. — Y. KUWADA, Behavior of chromonemata in mitosis. VII. Cytologia (Tokyo) **9** (1939). — Y. KUWADA u. T. NAKAMURA, VIII. Cytologia (Tokio) **9** (1939) .— Y. KUWADA, N. SINKE u. Z. NAKAZAWA, The hydration and dehydration phenomena in mitosis. II. Cytologia (Tokyo) **9** (1939). — A. LEVAN, The effect of colchicine on root mitoses in Allium. J. Hered. **25** (1938). — H. MARQUARDT, Die Meiosis von Oenothera. Z. Zellforsch. **27** (1937) — Die Röntgenpathologie der Mitose I und II. Z. Bot. **32** (1938). — A. MARSHAK, The nature of chromosome division and the duration of the nuclear cycle. Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. **25** (1939). — H. MATSUURA, Chromosome studies in Trillium kamtschaticum. VI, XI. Cytologia (Tokyo) **9** (1939). — C. W. METZ, The visible organization of the giant salivary gland chromosomes of Diptera. Amer. Naturalist **73** (1939). — T. NAKAMURA, Double refraction of the chromosomes in paraffin sections. Cytologia, Fujii Jubil. Vol. 1937. — B. R. NEBEL, Chromosome structure. XII. Further radiation experiments with Tradescantia. Amer. J. Bot. **24** (1937). — K. PÄTAU, Chromosomenmorphologie bei Drosophila melanogaster und Drosophila simulans und ihre genetische Bedeutung. Naturwiss. **1935**. — SAT-Chromosomen und Spiralstruktur der Chromosomen der extrakapsulären Körper (Merodinium sp.) von Collozoum inerme. Cytologia, Fujii Jubil. Vol. 1937. — F. Resende, Nucleoli and SAT-Chromosomes. Bol. Soc. Broteriana **13** (1938). — E. RIES, Grundriß der Histophysiologie. Leipzig 1938. — W. J. SCHMIDT, Die Doppelbrechung von Karyoplasma, Cytoplasma und Metaplasma. Protoplasma-Monogr. **11** (1937) — Zur Doppelbrechung der Chromosomen in den Speicheldrüsenkernen der Chironomus-Larven. Naturwiss. **25** (1937) — Doppelbrechung und Röntgendiagramm der Nukleinsäure und Feinbau der Chromosomen. Naturwiss. **26** (1938) — Doppelbrechung der Kernspindel und Zugfasertheorie der Chromosomenbewegung. Chromosoma **1** (1939). — F. SCHRADER, The kinetochore or spindle fiber locus in Amphiuma tridactylus. Biol. Bull **70** (1936). — T. SHIMAMURA, Cytological studies of Polyploidy induced by colchicine. Cytologia (Tokyo) **9** (1939). — N. SHINKE, An experimental study on the structure of living nuclei in the resting stage. Cytologia, Fujii Jubil. Vol. 1937. — H. SLIZYŃSKA, Salivary chromosome analysis of the white-facet region of Drosophila melanogaster. Genetics **23** (1938). — J. STRAUB, Die Spiralstruktur der Chromosomen Z. Bot. **33**, (1938 a) — Die Cytologie einiger Bulbine-Arten. Ber. dtsch. bot. Ges. **56** (1938 b) — Polyploidieauslösung durch Temperaturwirkungen. Z. Bot. **34** (1939 a) — Chromosomenuntersuchungen an polyploiden Blütenpflanzen. Ber. dtsch. bot. Ges. **57** (1939 b). — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Le mécanisme des mutations et la structure du géne. Paris 1939 a — Zur Frage der Beziehungen zwischen strahlenausgelösten Punkt- und Chromosomenmutationen bei Drosophila. Chromosoma **1** (1939 b). — M. J. D. WHITE, Eine neue Form von Tetraploidie nach Röntgenbestrahlung. Naturwiss. **23** (1935). — G. B. WILSON u. C. L. HUSKINS, Chromosome and chromonema lenght during meiotic coiling in Trillium erectum. Ann. of Bot., n. s. **3** (1939).

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÜFFERT, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.